

UNIVERSIDAD DE SEVILLA
Departamento de Física Atómica,
Molecular y Nuclear

UNIVERSIDAD DE SEVILLA
Escuela de Graduados de Física
Dolores de Acuña Garrido

T.S.
95

REALIZACIÓN DEL ESPECTRÓMETRO DE
RADIACIÓN GAMMA GASP.
IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE
CONTROL AUTOMÁTICO

ES 411021

Memoria presentada por
M. Dolores de Acuña Garrido
Para optar al grado de Doctora en Física



Sevilla, Diciembre de 1992



Directores:

Dr. Manuel Lozano Leyva



Dr. Carlos Rossi Alvarez



Agradecimientos

Esta va a ser la página más difícil de escribir de toda la Tesis... ¿Cómo expreso en unas cuantas líneas mi agradecimiento a todas las personas que en estos años me han ayudado para que esta Tesis fuera de verdad una realidad? No sé, necesitaría al menos otra Tesis... Aviso desde ya, que lo que escriba aquí será sólo como una aproximación de primer orden. Y dicen que el que avisa no es traidor. Empiezo:

En primer lugar, dar las gracias a Manolo Lozano y Carlos Rossi, mis directores. Manolo tuvo la "feliz idea" de que me uniera al Departamento de Nuclear para hacer la Tesis en el extranjero. Y mira por donde (¿el destino?) me mandó a Italia, a trabajar en el grupo de Carlos Rossi, el mejor grupo en el que podía caer (sin ánimo de ofender a los demás). Increíble pero cierto, porque siempre he dicho que no me gustan los *cacharros*, trabajando con Carlos y Bob en este sistema de control de GASP, al final hasta me entusiasmaba. Gracias a ambos por todo lo que he aprendido. A Dino, Mario, Renato, Alfredo, Roberto, Marco, Annarosa, por nombrar sólo a las personas con las que he trabajado más directamente, pero sin olvidar a todos los demás del Departamento de Padova y del Laboratorio de Legnaro, expresar mi gratitud por la disponibilidad y el buen trato que he recibido siempre de ellos.

A todo el grupo del Departamento de Nuclear de Sevilla, mil gracias sobre todo por soportarme en estos últimos días de escritura y de papeleo.

¿Y cómo se hace una Tesis sin el apoyo moral de los amigos? Imposible (al menos en mi caso). Un millón de gracias (y son pocas) a mis compañeros de la Facultad, por todas las veces que me han animado a seguir adelante y a las personas que han hecho que me sintiera bien en Padova.

Le doy las gracias a esta Tesis, porque por ella ahora cuento entre mis amigos a Jose y a Silvia y Daniel Napoli.

Pero los verdaderos culpables de que la historia tenga buen final son ni más ni menos que Celia y M. Angélica. Sin ellas desde luego que la Tesis ni hubiera empezado (M. Angélica me sacó de la primera crisis y me convenció de que yo sí podía hacer una tesis), ni terminado (si Celia no hubiera estado aquí en Sevilla). Me puedo considerar, no afortunada, superafortunada, por haber encontrado dos personas siempre dispuestas a escucharme.

Y las personas por las que todo esto tiene sentido, Bijan y mi familia, que son las que más han padecido mis berrinches.

A todos, y recordar que era la aproximación de primer orden, millones de gracias por vuestra ayuda.



Índice

Introducción	1
1 GASP: Espectrómetro de radiación γ para el estudio del núcleo a muy alto espín	3
1.1 Motivación física para la construcción del aparato	4
1.2 Criterios generales para el diseño de los espectrómetros de radiación γ	8
1.3 El espectrómetro de radiación γ GASP	15
1.3.1 Generalidades	15
1.3.2 Detectores	19
1.3.3 Electrónica	24
1.3.4 Sistema de adquisición de datos	28
2 Desarrollo de un sistema de control automático para GASP	30
2.1 Objetivos en el diseño de un sistema de control para GASP	30
2.2 Preparación de un experimento con un sistema multidetector	31
2.3 Configuración del sistema de control	35
2.3.1 Hardware	35
2.3.2 Software	45
2.4 Implementación del sistema de control	50
3 Programación de los dispositivos	54

3.1	Variables globales del sistema: <i>stack</i> "GPIB Interface"	54
3.2	Comunicación a través del sistema CAMAC	55
3.2.1	Descripción del sistema	56
3.2.2	Caracterización desde el Sistema de Control: <i>stack</i> "CAMAC"	58
3.3	Programación de las fuentes de alta tensión de los detectores de GASP	60
3.3.1	Control CAMAC de los sistemas CAEN SY127 y LeCroy 1440	61
3.3.2	Aplicación de la alta tensión	66
3.3.3	Interfase con el usuario	69
3.4	Control de la electrónica rápida CAMAC	72
3.4.1	Discriminadores CFD	73
3.4.2	Unidades multiplexer analógicas y digitales (AMX/DMX)	77
3.5	Sistema automático para el control del enfriamiento de los detectores HPGe de GASP con nitrógeno líquido	80
3.5.1	Descripción general de la estructura mecánica	81
3.5.2	Definición del Programa de Control	83
3.5.3	Programación del Sistema de Adquisición y Control de Datos HP 3852A	87
3.5.4	Control del sistema LN ₂ desde HyperCard	92
3.6	Gestión de los datos	98
4	Primeros experimentos con GASP: prestaciones y resultados	101
4.1	Funcionamiento del sistema de control	102
4.2	Primeros resultados con GASP: estudio del decaimiento de la banda SD en el ¹³³ Nd	109
	Resumen y conclusiones	114
	Bibliografía	118

Introducción

Durante la última década los continuos avances en el desarrollo de nuevos y cada vez más poderosos sistemas de detección han permitido llevar a cabo estudios fundamentales sobre la estructura de los núcleos a alto momento angular y lejos del valle de estabilidad, estimulando así el interés en una comprensión más profunda del comportamiento nuclear en condiciones límites de estabilidad. Ello motivó a muchos grupos de investigación a mejorar la sensibilidad de sus espectrómetros y actualmente varios sistemas multidetectores de alta resolución y eficiencia, capaces de identificar cascadas débiles de rayos γ , están entrando en operación o bien constituyen proyectos más complejos aún en fase de construcción. Uno de tales sistemas es el espectrómetro italiano GASP, el cual entró en operación en Junio de 1992 y en cuya realización participé.

El elevado número de detectores de estos nuevos espectrómetros γ (160 en el caso de GASP) y, por consiguiente, la compleja cadena electrónica y sistema de adquisición de datos asociado, llevan a la necesidad de disponer de un sistema de control de los parámetros que configuran el instrumento, el cual facilite a los distintos grupos de investigación el uso del mismo en el tiempo disponible de haz. La implementación de un sistema para la automatización de las operaciones de puesta a punto y el control del aparato durante el desarrollo de un experimento constituye la base de trabajo de la presente Tesis Doctoral.

En el capítulo 1 exponemos las principales motivaciones físicas que llevaron a la construcción de instrumentos como GASP, los cuales permitieran superar los límites de observación de los sistemas multidetectores existentes y caracterizar por tanto el núcleo en las regiones de alto espín. El capítulo contiene además una descripción general de los elementos que componen el espectrómetro GASP.

En el capítulo 2 describimos las características del sistema de control que hemos

desarrollado para GASP, esto es, los requisitos que el sistema debía cumplir, su composición hardware y software y el principio que hemos seguido para la implementación de las distintas funciones.

El capítulo 3 contiene los detalles relativos a la programación y el control de los sistemas de alta tensión de los detectores, la electrónica rápida y el sistema para el enfriamiento de los detectores de Germanio con nitrógeno líquido. El capítulo concluye con una descripción de la Base de Datos que hemos diseñado para la gestión de los parámetros que caracterizan los detectores y la electrónica de GASP.

Gracias a que los trabajos para la construcción e instalación de GASP se completaron con un año de antelación respecto al plan previsto, se han podido realizar ya los primeros experimentos con el espectrómetro. En el capítulo 4 discutimos el funcionamiento del sistema de control implementado y presentamos los primeros resultados obtenidos por el grupo de Legnaro en el estudio de los estados superdeformados del ^{133}Nd . Estos resultados confirman que los nuevos espectrómetros, con los cuales se están recogiendo los primeros datos, están abriendo nuevas perspectivas en el estudio de los núcleos a alto momento angular.

Finalmente presentamos el resumen y las principales conclusiones de este trabajo.

Capítulo 1

GASP: Espectrómetro de radiación γ para el estudio del núcleo a muy alto espín

GASP (GAMMA SPectrometer) es uno de los instrumentos pertenecientes a la nueva generación de sistemas multidetectores 4π para estudios avanzados de espectroscopía gamma y mecanismos de reacción. El espectrómetro está instalado en los Laboratorios Nacionales de Legnaro (LNL, Italia) y es el resultado de la colaboración entre las secciones del Instituto Nacional de Física Nuclear (INFN) de Padua, LNL, Milán y Florencia. El estudio del proyecto se inició en 1988, fue presentado al INFN en Mayo de 1989 y, finalmente, aprobado su financiación en Octubre del mismo año. Los trabajos para la construcción e instalación de GASP se completaron en Marzo de 1992. Las primeras pruebas de funcionamiento mostraron que el sistema es capaz de producir eventos de coincidencia triple a un ritmo mayor de 5 kHz. La detección de eventos de coincidencia múltiple con suficiente estadística es, como veremos en este capítulo, uno de los requisitos más importantes para poder estudiar y obtener resultados significativos sobre las propiedades del núcleo en las regiones de alto espín.

1.1 Motivación física para la construcción del aparato

Los estados a muy alto espín se pueblan normalmente mediante reacciones de fusión-
evaporación de iones pesados ($A \geq 30$). La situación más favorable para alcanzar
estos estados ocurre cuando tiene lugar la fusión entre el núcleo proyectil y el núcleo
blanco y la colisión se produce con el mayor parámetro de impacto posible. En
este caso, una cantidad considerable de momento angular puede ser transferida al
sistema compuesto resultante. El proceso de desexcitación se inicia con la emisión de
partículas ligeras (p , n o α) hasta que la energía disponible es menor que la energía
de ligadura de los nucleones al momento angular residual. El modo de decaimiento
predominante pasa a ser entonces la emisión de radiación gamma. El estudio de
estos rayos γ proporciona información sobre la estructura nuclear.

Durante esta última década, la combinación de aceleradores de iones pesados,
capaces de producir núcleos en condiciones extremas de estabilidad, y de sistemas de
detección γ de alta resolución y eficiencia han permitido extender los estudios sobre
la estructura nuclear a los núcleos formados a muy alto espín. En esta región, dada
la alta densidad de niveles, las transiciones son en general de muy baja intensidad y
dan origen a la parte del espectro conocido como espectro continuo. Con los sistemas
multidetectores construidos en los años 80, frutos de colaboraciones nacionales como
TESSA3 en Inglaterra, OSIRIS en Alemania, CHATEAU DE CRISTAL en Francia,
 8π en Canadá, NORDBALL en Escandinavia [Her85], o los detectores americanos
HERA (Berkeley) [DS81], SPIN SPECTROMETER (Oak Ridge) [Sa80], MULTI-
SPECTROMETER (Argonne), ha sido posible disminuir el límite de intensidad de
detección a fracciones de 10^{-2} , lo cual ha llevado a una comprensión más profunda
de las características del núcleo tanto en las excitaciones colectivas como en las de
partícula independiente.

De los descubrimientos realizados, uno de los más espectaculares ha sido sin
duda la evidencia experimental de la existencia de cascadas muy regulares de rayos

γ , con una diferencia de energía $\Delta E < 70$ keV. Este nuevo tipo de transiciones fue observado por primera vez en Daresbury [Tw86] en el estudio del núcleo ^{152}Dy . A partir de entonces, el fenómeno fue ampliamente observado en la región de las tierras raras (A entre 130 y 150) y en la región $A = 190$. Una interpretación de dicho comportamiento está basado en la existencia de un segundo pozo de potencial para núcleos elipsoidales prolatos "superdeformados" (SD), cuya razón entre el eje mayor y el eje menor es de 1.6 para $A = 130$ y $A = 190$ y, aproximadamente 2 en la región de $A = 150$. Varias propiedades importantes de estas bandas SD no han sido aún determinadas experimentalmente, entre ellas los mecanismos por los que se pueblan y posteriormente se desexcitan, o la observación de las débiles transiciones que conectan los estados superdeformados con los estados normales. Sin estos datos no es posible dar una medida precisa de las energías de excitación de los estados superdeformados ni de sus espines y paridades, por lo que el estudio de los fenómenos que tienen lugar en una estructura superdeformada (como, por ejemplo, la existencia de bandas idénticas en núcleos vecinos [By90]) es muy limitado.

Otros muchos aspectos de la física del núcleo a alto espín han podido ser afrontados sólo parcialmente con los sistemas multidetectores actuales. Entre ellos podemos citar:

- Las correlaciones nucleares de pairing. En un núcleo que rota las fuerzas centrífuga y de Coriolis reducen la tendencia de los nucleones a aparearse y a espines suficientemente altos se produce una transición del régimen apareado al no apareado. La observación de esta transición ha sido uno de los objetivos principales en el estudio de los núcleos a alto espín. A pesar de los progresos realizados en la comprensión del fenómeno, todavía no pueden darse respuestas exactas sobre cómo y cuándo desaparecen las correlaciones de pairing en un sistema nuclear que rota y poco es lo que se conoce sobre el comportamiento nuclear en un régimen no apareado.

- Los cambios de forma. Con los sistemas de detección existentes son muchas las

cuestiones relativas a la evolución de la forma nuclear en función de la frecuencia de rotación y del alineamiento de los nucleones de valencia que permanecen aún abiertas, debido principalmente a la falta de estadística. Un ejemplo importante es la transición de una forma prolata colectiva a una oblata no colectiva, la cual da lugar a las terminaciones de banda.

- Los efectos relacionados con la temperatura finita de los núcleos. Entre ellos podemos citar la resonancia gigante en los núcleos calientes, el papel de las fluctuaciones térmicas, la atenuación de los modos colectivos vibracionales y rotacionales o las transiciones del orden al caos en el movimiento de los nucleones con el aumento de la temperatura del sistema.

- Los estudios sobre núcleos exóticos. Estos han sido posibles durante los últimos años gracias al desarrollo de nuevas técnicas experimentales, en particular el uso acoplado de los sistemas de detección γ de alta resolución y eficiencia con espectrómetros de masa RMS (*Recoil Mass Spectrometer*). En Daresbury se obtuvieron así resultados sobre núcleos con $N=Z$ desde el ^{64}Ge al ^{80}Zr [Li87], a través de coincidencias entre los rayos γ emitidos y el núcleo residuo detectado en el plano focal del espectrómetro. Dado que estos núcleos se producen con una sección eficaz muy pequeña ($\sim 10\mu\text{b}$ para el ^{80}Zr), con los sistemas de detección actuales sólo dichas coincidencias pueden recogerse con la suficiente estadística. Coincidencias γ - γ -núcleo residuo necesitan de sistemas con mayor eficiencia que permitan, por ejemplo, determinar esquemas de niveles o realizar medidas de vida media. Por otra parte, es de destacar el reciente interés en extender los estudios de los núcleos $N=Z$ a regiones de mayor Z [Gr92], concretamente hacia la observación del núcleo ^{100}Sn para el que el modelo de capas prevé una estructura de núcleo esférico doblemente mágico ($N=Z=50$).

Para poder superar los límites de detección de los sistemas existentes y caracterizar en modo preciso las propiedades nucleares en las regiones de alto espín han

sido aprobados en los últimos años nuevos proyectos para la construcción de instrumentos con mayor número de detectores y con mayor eficiencia. Los sistemas que representan esta nueva generación son: GASP (Italia) [GA89], EUROGAM (Francia e Inglaterra) [EU90], GAMMASPHERE (USA) [DD88] y EUROBALL (Inglaterra, Dinamarca, Suecia, Finlandia, Francia, Alemania e Italia) [Li89][Be92]. De ellos, tan sólo GASP ha comenzado ya a realizar los primeros experimentos, mientras que EUROBALL constituye el proyecto más ambicioso. Su construcción se desarrollará en tres fases, la primera de las cuales corresponde a la puesta en funcionamiento de GASP y EUROGAM (este último instalado en el laboratorio de Daresbury), espectrómetros constituidos respectivamente por 40 y 45 detectores de Ge rodeados con pantallas Anticompton de BGO (Germanato de Bismuto). En la segunda fase, que se iniciará en 1993, EUROGAM será trasladado a Estrasburgo (Francia) y será ampliado con un nuevo tipo de detectores de Germanio denominado "Clover" (4 cristales individuales encapsulados en un mismo recubrimiento Anticompton). Con este diseño se garantiza una mayor granularidad y por tanto una reducción del ensanchamiento Doppler. La configuración de la fase 2 estará constituida por 30 detectores de Ge con pantallas Anticompton individuales y 24 detectores clover. La versión final utilizará un tercer tipo de detectores de Ge, cuyo diseño está aún en fase de desarrollo [Eb92], formado por 7 cristales rodeados por un mismo Anticompton (detector "Cluster"). EUROBALL III estará compuesto por 15 detectores de Ge individuales, 48 clovers y 15 clusters. Una discusión más detallada del proyecto puede encontrarse en [GL91]. La utilización de EUROBALL está prevista para 1995 y el límite de detección que se espera alcanzar es de 10^{-6} .

1.2 Criterios generales para el diseño de los espectrómetros de radiación γ

Los sistemas multidetectores de rayos γ se caracterizan fundamentalmente por:

- la eficiencia total de fotopico, la cual determina la probabilidad de detectar un evento de coincidencia múltiple
- el poder resolutivo, cuyo valor da idea de la calidad de los datos obtenidos.

EFICIENCIA DE FOTOPICO

En general existen distintos criterios para definir la eficiencia de un detector [Kn89]. Una primera clasificación lleva a la distinción entre eficiencia absoluta y eficiencia intrínseca. La eficiencia absoluta se define como la razón entre el número de impulsos registrados y el número de cuantos de radiación emitidos por la fuente. Esta cantidad depende fuertemente de la geometría, en particular de la distancia del detector a la fuente. Por su parte, la eficiencia intrínseca se define como la razón entre el número de impulsos registrados y el número de cuantos de radiación que inciden en el detector. Su valor depende exclusivamente de las características del detector (material, dimensiones,...). Para fuentes isótropas, ambos tipos de eficiencia se relacionan mediante la expresión

$$\epsilon_{abs} = \frac{\omega}{4\pi} \epsilon_{intr} \quad (1.1)$$

donde ω es el ángulo sólido subtendido por el detector.

Una segunda clasificación está relacionada con la naturaleza del evento registrado. Si se aceptan todas las interacciones en el detector, independientemente de la energía que depositan, entonces se hablará de eficiencia total. Si en cambio se registran únicamente los impulsos debidos a interacciones que depositan toda la energía del cuanto incidente en el detector, se hablará de eficiencia de pico (o de fotopico, dado que la interacción en este caso tiene lugar a través del efecto

fotoeléctrico). La razón entre ambas eficiencias

$$r = \frac{\epsilon_{pico}}{\epsilon_{total}} \quad (1.2)$$

caracteriza la capacidad de un detector para registrar un bajo contenido de fondo debido a las interacciones que dejan sólo una parte de su energía en el detector (interacción por efecto Compton) respecto al contenido de pico en el espectro. Dicha fracción se conoce con el nombre de "razón *peak-to-total*" (P/T). Generalmente se especifica la eficiencia de un detector asumiendo que se trata de eficiencia intrínseca y de pico.

En los sistemas multidetectores, la eficiencia total de fotopico P_{ph} depende de la eficiencia intrínseca de fotopico de cada detector ϵ_{ph} , del ángulo sólido individual ω y del número total de detectores N . La expresión que define P_{ph} es por tanto

$$P_{ph} = N\Omega \quad (1.3)$$

con $\Omega = \frac{\omega}{4\pi} \epsilon_{ph}$.

La eficiencia total de fotopico está relacionada con la probabilidad de detectar eventos de coincidencia múltiple y con la multiplicidad M (o número de rayos γ en una cascada) mediante la expresión [EV89][Be92]

$$P_{Nk}^M = C_k^N \sum_{n=0}^k (-1)^{k-n} C_n^k \{1 - (N - n)\Omega\}^M \quad (1.4)$$

donde C_k^N es el coeficiente binomial que representa el número posible de detectores k de un conjunto de N que registran un evento simultáneamente. Dicha probabilidad aparece representada en la figura 1.1.

Hay que distinguir sin embargo entre el concepto de probabilidad de que un determinado número n de detectores actúe en coincidencia (número expresado con el término "*Fold*") y probabilidad de detectar un número efectivo de coincidencias de orden n (fig.1.2). Este último es el que tiene significado desde el punto de vista

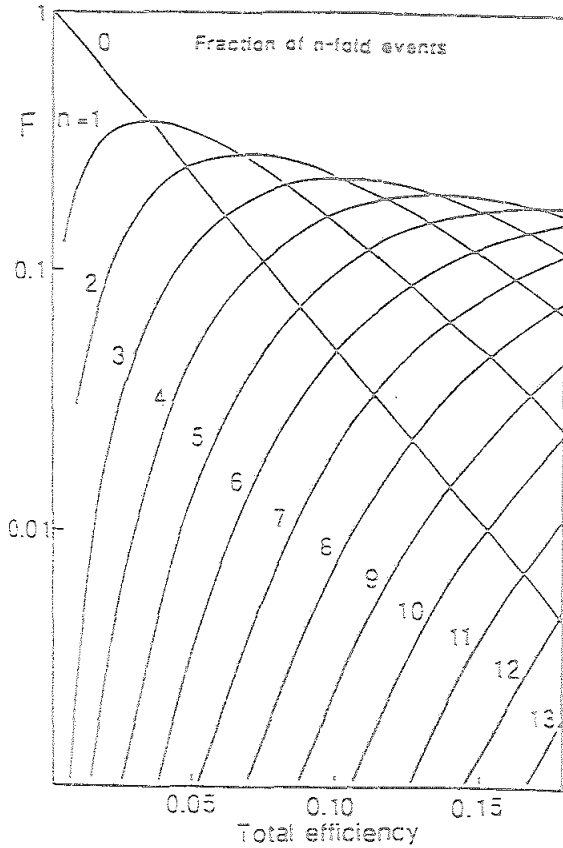


Figura 1.1: Probabilidad de detectar eventos de coincidencia de orden n para una multiplicidad $M = 30$ en función de la eficiencia total de fotopico $P_{ph} = N\Omega$ (fig. tomada de [Be92]).



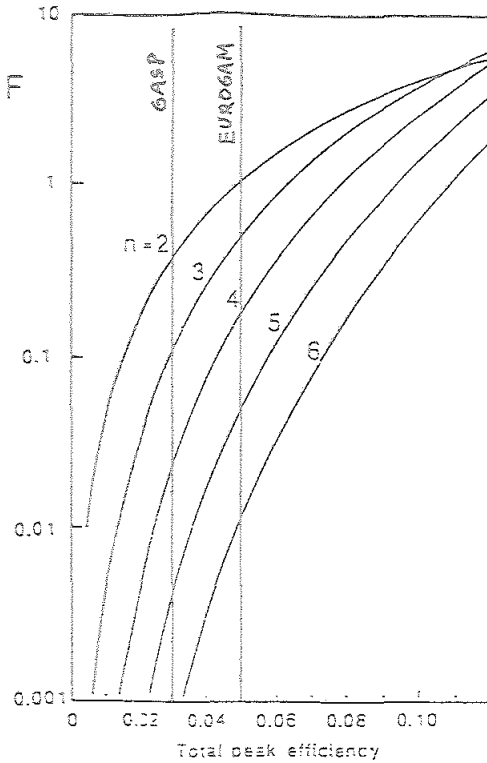


Figura 1.2: Probabilidad de detectar coincidencias de orden n en función de la eficiencia total de fotopico $P_{ph} = N\Omega$ (fig. tomada de [Be92]).

del análisis de datos. Así por ejemplo, el número de coincidencias γ - γ recogidas en un experimento vendrá dado por la suma del número de eventos en los que dos detectores de Ge han dado señal, más el número de dobles contenido en los eventos de orden superior (3 parejas γ - γ en un evento triple γ - γ - γ , 6 en uno γ^4 , 10 en uno γ^5 , etc.). En la figura 1.2 pueden observarse las diferencias entre GASP y EUROGAM en la medida de dichos eventos de coincidencia múltiple. Los valores distintos de eficiencia, a pesar de que ambos sistemas presentan prestaciones semejantes, se deben principalmente a la distinta distancia entre el blanco y los detectores de Ge en cada uno de los espectrómetros (en GASP esta distancia es mayor debido a la presencia del filtro de multiplicidad).

PODER RESOLUTIVO

Uno de los principales objetivos en la construcción de los nuevos sistemas multidetectores es el poder estudiar los rayos γ de pequeña intensidad emitidos en las transiciones entre estados a muy alto espín. Para ello es necesario optimizar el poder resolutivo del instrumento o capacidad para identificar cascadas débiles de rayos γ y mejorar la razón entre el número de cuentas correspondiente a un pico de una transición γ respecto al fondo de dicho pico en el espectro. La expresión que define el poder resolutivo es

$$R = \frac{SE_{\gamma}}{\Delta E_{\gamma}} (P/T) \quad (1.5)$$

donde ΔE_{γ} es la resolución en energía del detector (intrínseca + ensanchamiento Doppler), P/T la razón pico-total y SE_{γ} la separación media en energía entre las transiciones de la cascada. Para la detección de coincidencias de orden n el poder resolutivo pasa a ser $(R)^n$. Una mejora en el poder resolutivo dependerá pues de la posibilidad de optimizar cada uno de los parámetros que lo definen.

La separación media en energía SE_{γ} entre las transiciones γ es un parámetro que no depende de las características del instrumento sino de la estructura del núcleo en cuestión.

Resolución en energía. La mejor resolución en energía se obtiene utilizando detectores de Germanio. Con la tecnología actual, la resolución intrínseca es algo menor de 2 keV para $E_{\gamma} = 1$ MeV, valor 30 veces mejor comparado con la resolución de un detector de NaI a la misma energía. Dicho valor resulta sin embargo degradado si los rayos γ son emitidos por el núcleo en movimiento (ensanchamiento Doppler). Así por ejemplo, en sistemas como GASP y EUROGAM I la resolución que se obtiene es de 7 y 9 keV, respectivamente. Este efecto puede reducirse con el diseño de los nuevos detectores de Ge propuestos para EUROGAM II y EUROBALL III [Eb92].

Razón pico-total (P/T). Puesto que los detectores de Ge tienen un número atómico relativamente bajo y su tamaño está limitado, existe una probabilidad muy

alta de que un rayo γ interaccione con el detector a través del efecto Compton y escape dejando en él sólo parte de su energía, siendo por tanto la razón P/T muy pequeña. Así, los detectores de los sistemas existentes, de dimensiones $\phi = 52$ mm y $L = 54$ mm, presentan una eficiencia intrínseca de fotopico $\epsilon_{ph} \approx 0.12$ y una razón P/T de ≈ 0.17 para $E_\gamma = 1.33$ MeV. Con los detectores que se fabrican actualmente ($\phi = 70$ mm, $L = 70$ mm) se alcanzan valores de $\epsilon_{ph} \approx 0.20$ y $P/T \approx 0.25$. Técnicamente, sin embargo, no es muy probable que el volumen de los detectores de Ge pueda aumentarse en el futuro, por lo que el único modo de conseguir valores aún mejores de la razón P/T es intentar suprimir los eventos que interaccionan por efecto Compton. Los detectores de Ge se rodean pues con material centelleador, de forma que si un rayo γ es detectado simultáneamente en ambos detectores el evento es suprimido mediante un circuito de anticoincidencia (en los espectros de las figuras 1.9 y 1.10 puede observarse el efecto de dicha supresión). Los cristales de BGO ($\text{Bi}_2\text{Ge}_3\text{O}_{12}$) son los más utilizados dado que su alta densidad (7.3 g/cm³) y alto número atómico medio debido al componente de Bismuto permiten obtener las mayores eficiencias de supresión con la menor cantidad de material. Los valores intrínsecos de P/T tras la supresión son: $P/T \approx 0.5$, para $\phi = 52$ mm y $L = 54$ mm, y $P/T \approx 0.6$ para $\phi = 70$ mm y $L = 70$ mm. En los experimentos de alto espín, la razón P/T se ve reducida a un valor efectivo $(P/T)_{ef}$ puesto que un evento se elimina del fotopico (i) si en un detector de Ge se detectan dos rayos γ simultáneamente, y (ii) si un neutrón interacciona con el detector al mismo tiempo que un rayo γ .

La resolución en energía y la razón P/T no pueden mejorarse de una forma significativa con los nuevos sistemas multidetectores en comparación con los sistemas existentes. Valores superiores de poder resolutivo pueden sólo obtenerse aumentando la probabilidad (1.4) de detectar eventos de coincidencia múltiple. El número medio de coincidencias que pueden ser detectadas por un sistema multidetector puede calcularse a partir de la multiplicidad M_γ de la cascada y de la eficiencia total

de fotopico efectiva del sistema P'_{ph}

$$\langle F \rangle = P'_{ph} M_{\gamma} \quad (1.6)$$

donde P'_{ph} es el valor de eficiencia dado por la fórmula (1.3) corregido con P_i o probabilidad de que un detector vea sólo un rayo γ de la cascada, P_n o probabilidad de no detectar un neutrón y P_e o probabilidad de que el evento sea aceptado por la cadena electrónica.

Obviamente tendrá sentido considerar estas coincidencias únicamente si se recoge un número de eventos que permita determinar un pico con la suficiente precisión estadística. Para identificar un pico en el espectro, la razón pico-fondo debe ser $P/B \geq 0.2$.

Como comparación de las prestaciones de algunos de los sistemas multidetectores existentes y de los sistemas en proyecto, se muestran en la siguiente tabla los parámetros que caracterizan cada uno de los espectrómetros, según datos tomados de [Eb92] (los valores de GASP y EUROGAM I se presentan modificados de acuerdo con los últimos cálculos). En la tabla, N indica el número de detectores de Ge encapsulados con un recubrimiento Anticompton. En el caso de EUROGAM II y EUROBALL III, ello significa (notas a y b) que el número total de cristales de Ge sobre el que posteriormente se basan los cálculos de la resolución ΔE_{γ} es de 126 y 312, respectivamente. Para GASP los datos están basados en la configuración del espectrómetro con el filtro de multiplicidad. El valor dado de $R^{\langle F \rangle}$ incluye un factor aproximado de dos debido a la contribución del filtro en la reducción del fondo.

Espectrómetro γ	N	ΔE_γ	$(P/T)_{eff}$	F_{ph}	$\langle F \rangle$	R	$R^{<F>}$
OSIRIS	12	7.3	0.43	0.007	0.2	3.5	1.3
NORDBALL	20	7.3	0.43	0.011	0.3	3.5	1.5
GASP (w. BGO ball)	40	7.0	0.56	0.028	0.84	4.8	8 ^c
EUROGAM I	45	8.9	0.47	0.048	1.4	4.0	7.2
EUROGAM II	54 ^a	6.4	0.52	0.086	2.6	4.9	62
EUROBALL III	78 ^b	5.2	0.55	0.125	3.8	6.3	1.1 10 ³

Tabla 1.1: Características de espectrómetros γ para $E_\gamma = 1.33$ MeV, $M_\gamma = 30$ y $v/c = 4\%$. Se remite al texto para las puntualizaciones *a*, *b* y *c*.

1.3 El espectrómetro de radiación γ GASP

1.3.1 Generalidades

GASP es un espectrómetro γ compuesto por 40 detectores de Germanio Hiperpuro (HPGe) con pantallas simétricas de BGO para la supresión Compton y un calorímetro 4π formado por 80 cristales de BGO. El diámetro de la esfera interna, de 34 cm, permite la instalación de un filtro de multiplicidad para partículas cargadas, actualmente en fase de desarrollo, compuesto por 40 detectores de Silicio. GASP podrá funcionar asimismo en combinación con el espectrómetro de masa RMS (denominado "CAMEL") del Laboratorio de Legnaro [Sp90], tal y como se muestra en la figura 1.3. El uso acoplado de GASP, RMS y la bola de Si hace de GASP un instrumento único para la identificación y el estudio de los canales de reacción más débiles.

Básicamente, el diseño elegido para los detectores de GASP sigue el modelo de anteriores sistemas de detección γ , esto es, detectores de Ge rodeados por pantallas individuales de BGO para la supresión Compton. Por el contrario, sistemas como GAMMASPHERE o EUROBALL proponen nuevos diseños para los detectores de Ge (como ya se ha comentado en el apartado 1.1 en el caso de EUROBALL) y pantallas Anticompton compartidas, en modo de maximizar la eficiencia de fotopico del sistema. En GASP y EUROGAM el incremento en eficiencia se obtiene usando

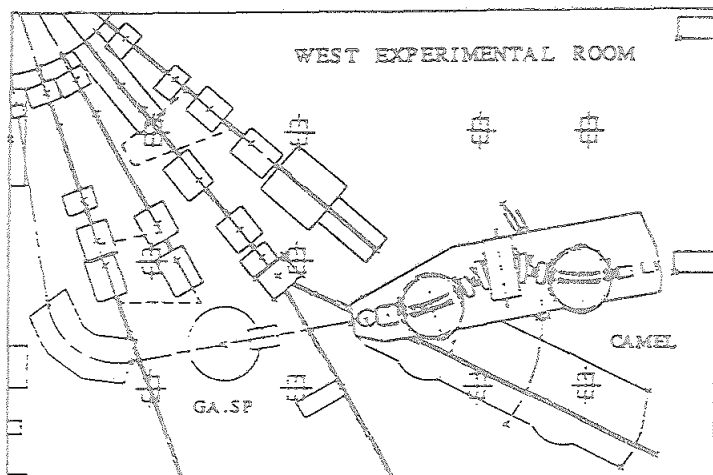


Figura 1.3: Situación de los espectrómetros GASP + CAMEL (RMS) en la sala de experimentación (fig. tomada de [Sp90]).

los cristales de Ge de mayor tamaño disponibles hoy día en el mercado.

La geometría del sistema se basa en un poliedro de 122 caras, el cual se puede construir partiendo de un icosaedro o de un dodecaedro. La esfera interna utiliza 80 de estas caras y las 42 restantes son para la entrada y salida del haz y para los 40 sistemas Ge+Ac. La figura 1.4 muestra un diseño esquemático del espectrómetro en el que, por simplicidad, aparecen únicamente los cristales BGO de la esfera interna y de las pantallas Anticompton y los tubos fotomultiplicadores del filtro.

La estructura mecánica para el soporte de los detectores se diseñó con el objetivo principal de garantizar la flexibilidad del sistema en las diferentes condiciones experimentales y en relación con los otros sistemas de detectores y con el espectrómetro de masa RMS, permitiendo por una parte el acceso al blanco y a los elementos individuales del filtro y, por otra, la sustitución o extracción de los detectores de Ge con sus correspondientes pantallas Anticompton [Fa90]. El sistema está compuesto pues por los siguientes elementos (ver figura 1.5):

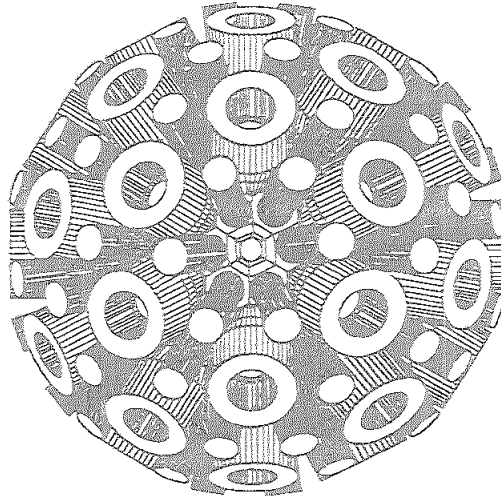


Figura 1.4: Representación esquemática del espectrómetro GASP.

1.- Un caparazón esférico para el soporte de los 80 cristales de BGO y los 40 sistemas Ge+Ac, consistente en dos semiesferas de hierro de 20 mm de espesor y 1200 mm de diámetro con agujeros de 90 y 200 mm de diámetro para los detectores BGO y las pantallas Ac, respectivamente.

2.- Dos estructuras rígidas para el apoyo de cada semiesfera y el deslizamiento de las mismas en una dirección perpendicular al haz, las cuales permiten abrir el espectrómetro y acceder a la cámara de dispersión interna.

3.- Una estructura triangular que sirve de soporte a las guías de deslizamiento y permite la rotación alrededor de un eje vertical.

4.- Una última estructura triangular que sostiene las estructuras precedentes y que se monta de forma que sean posibles ligeros movimientos para la correcta situación y alineamiento del aparato.

Los movimientos de apertura y cierre de las semiesferas se llevan a cabo manualmente desde un dispositivo de control situado cerca del espectrómetro.

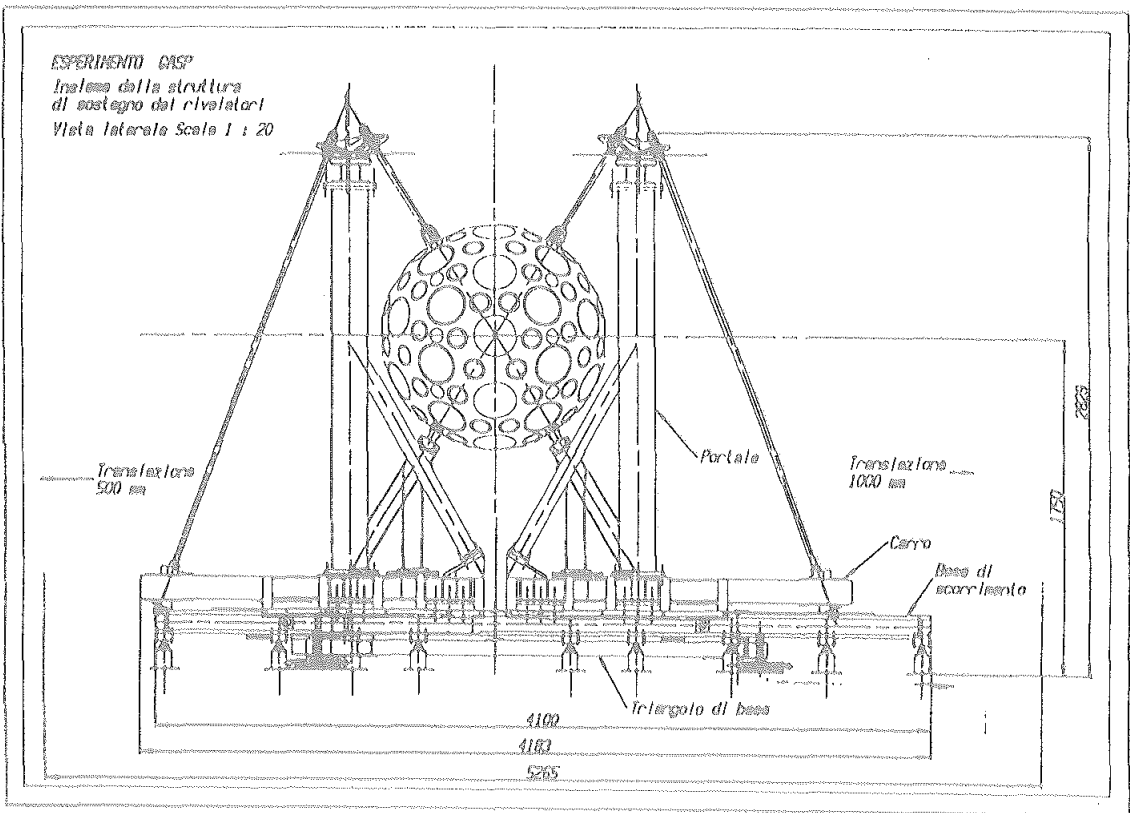


Figura 1.5: Visión general de la estructura mecánica del sistema.

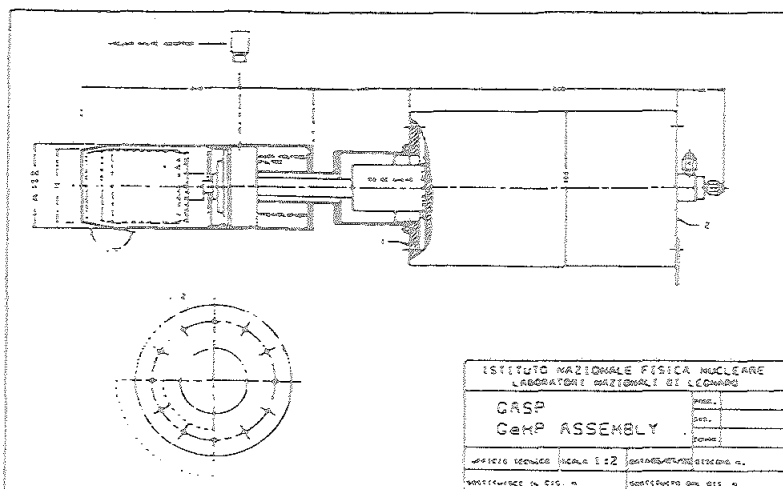


Figura 1.6: Diseño esquemático de los detectores HPGe de GASP (fig. tomada de [Ro90]).

1.3.2 Detectores

Los detectores HPGe de GASP, construidos por la firma EG&G ORTEC (USA) [EG90], son cristales cilíndricos de tipo n de 72 mm de diámetro y 82 mm de longitud, instalados en el interior de una cápsula de 87 mm de diámetro. La cara anterior de los cristales presenta un tronco de cono de 3 cm de longitud y 10 grados de inclinación, como puede observarse en la figura 1.6. La eficiencia relativa de fotopico y la resolución energética de los detectores recibidos hasta el momento es en media del 82.8% y de 2.18 keV a 1332 keV, respectivamente (ver figura 1.7).

La supresión Compton se realiza rodeando cada detector de Ge con pantallas simétricas de BGO (ver figura 1.8) compuestas por 8 cristales de 19.5 cm de longitud aislados ópticamente. Cada cristal está dotado con un tubo fotomultiplicador propio aunque las señales individuales se suman antes de ser procesadas por la cadena electrónica. Las dimensiones y el coste de los cristales de BGO se optimizaron mediante numerosos cálculos de simulación del tipo Montecarlo [Ba90], en los cuales

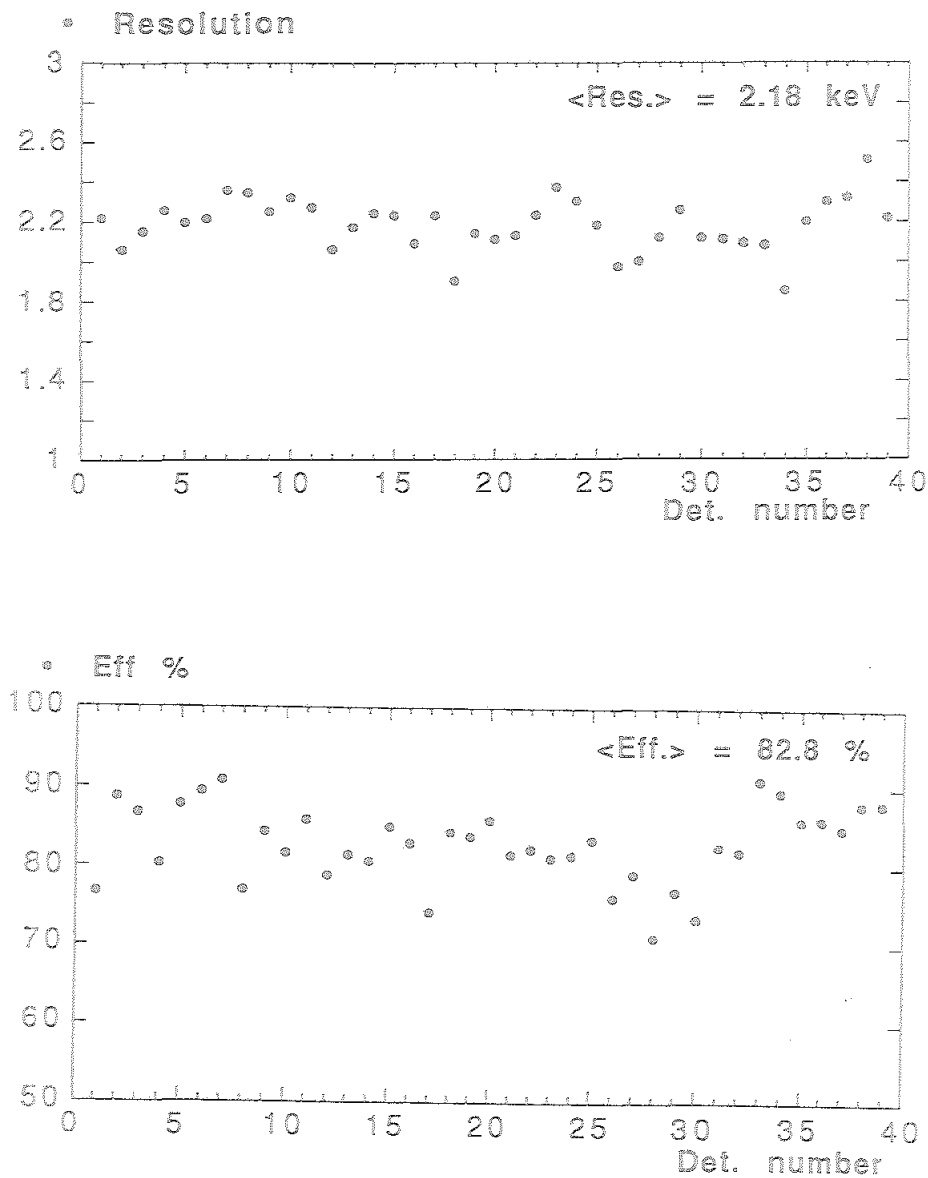


Figura 1.7: Resolución energética y eficiencia relativa de fotopico a 1332 keV de los detectores HPGe de GASP.

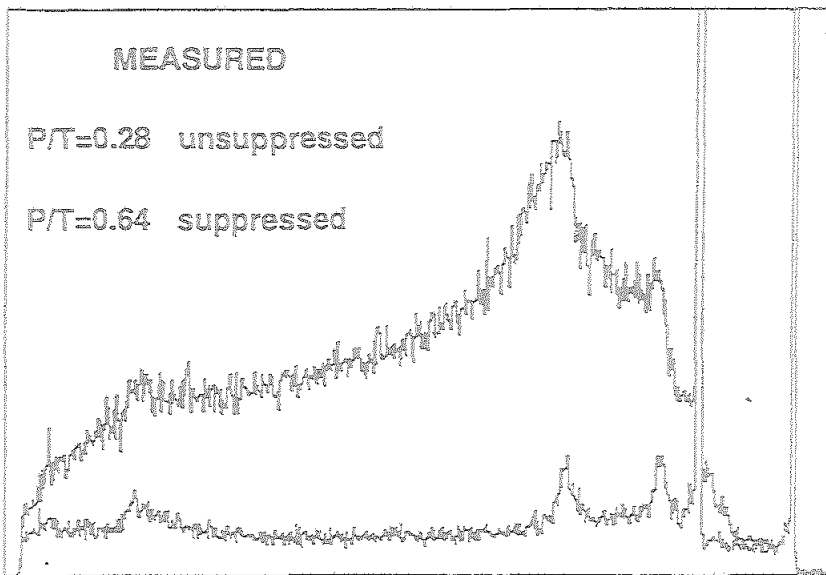


Figura 1.9: Espectros medidos con y sin supresión Compton para una fuente de ^{60}Co (fig. tomada de [BB92]).

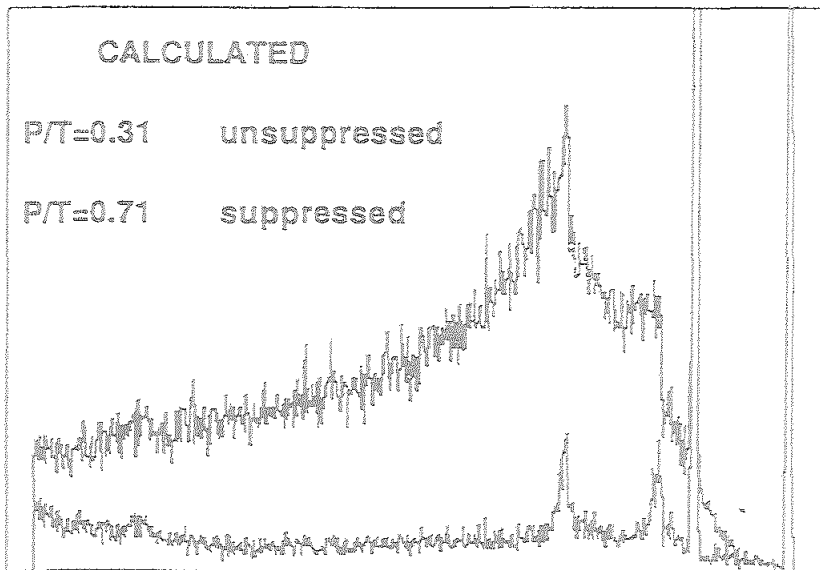


Figura 1.10: Espectros calculados con y sin supresión Compton para una fuente de ^{60}Co (fig. tomada de [BB92]).

permite reducir la distancia de los detectores de Ge al blanco de 27 a 20 cm, lo cual representa una ganancia de un factor 2 en la eficiencia total del sistema. La resolución energética sin embargo empeora debido al ensanchamiento por efecto Doppler.

1.3.3 Electrónica

Las señales provenientes de los 160 detectores de GASP (40 Ge + 40 Ac + 80 BGO del filtro) son tratadas por una electrónica propia y un sistema de adquisición de datos dedicado. La mayoría de los módulos han sido implementados en el Instituto con el fin de disponer de un sistema compacto (módulos multicanales y multifuncionales), fiable y que se ajustara al máximo a las exigencias específicas del proyecto. Dado el número de detectores implicados, la utilización de electrónica comercial hubiera significado tener que manejar un sistema complicado, con un número elevado de módulos y de cables de interconexión. También se consideró la necesidad de disponer de un sistema en el que operaciones frecuentes, como el ajuste de las ganancias o la normalización de los tiempos, pudieran ser realizadas desde un ordenador en modo simple y automático.

En la figura 1.12 se muestra el esquema general de la cadena electrónica con los módulos más importantes [Baz90]. Estos son:

- FA&CFD (*Fast Amplifier and Constant Fraction Discriminator*): Módulos CAMAC con cuatro canales, cada uno de los cuales comprende un amplificador rápido para las señales de tiempo, un discriminador a fracción constante, la lógica a través de la que se realiza la supresión Compton (anticoincidencia del Germanio con su pantalla Anticompton) y un circuito para regular la duración y el retraso de las señales lógicas de salida.

- Lin. SW (*Linear Switch*): Conmutadores CAMAC de 16 entradas y 1 salida utilizados para inspeccionar las señales relevantes de cada detector sin necesidad de

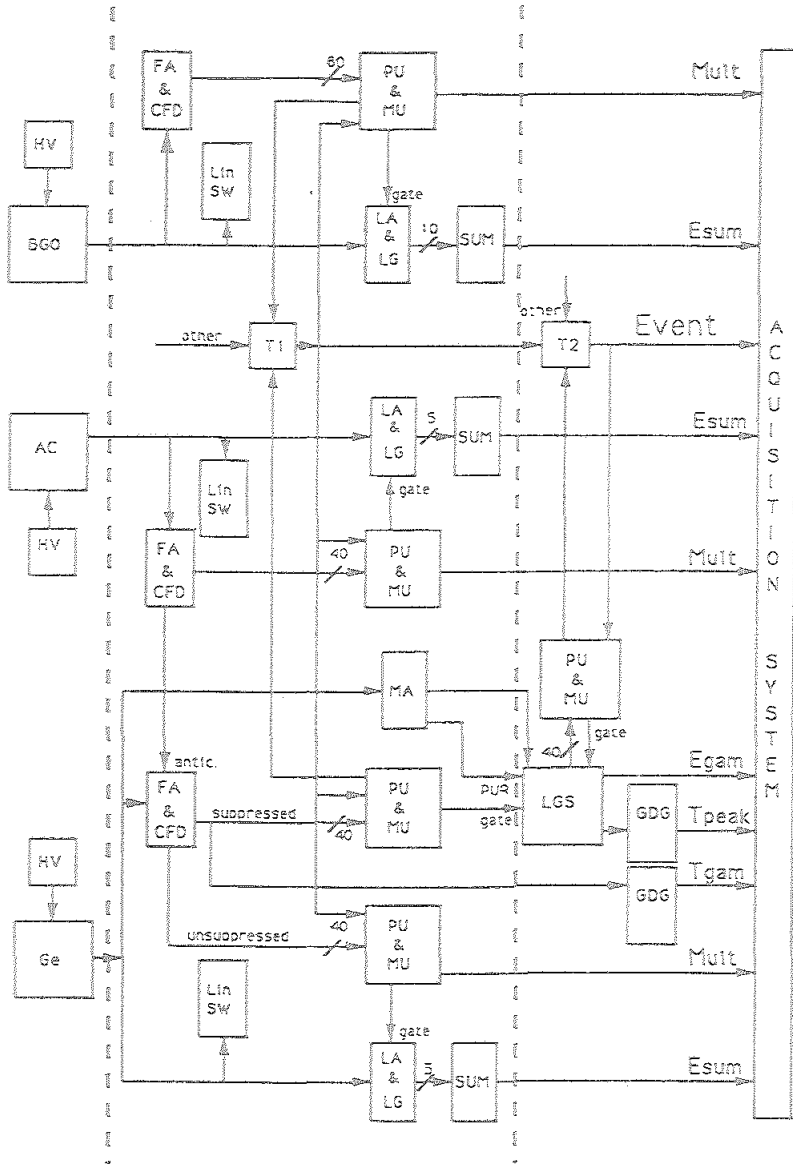


Figura 1.12: Esquema general de la electrónica de GASP.

desconectar ningún cable. En el esquema, con "Lin SW" se representan los módulos multiplexers analógicos (AMX) mediante los que se inspeccionan las señales de los preamplificadores y de los fotomultiplicadores. Está previsto sin embargo que este control pueda también realizarse a nivel de las señales lógicas (salidas de los CFD) mediante multiplexers digitales (DMX).

- LA&LG (*Linear Amplifier and Linear Gate*): Amplificadores lineales de bajo costo mediante los que se obtiene la información sobre la energía depositada en los detectores. Cada módulo amplificador contiene 8 canales de ganancia variable, la cual se ajusta manualmente a través de unos potenciómetros. Cada uno de estos 8 canales puede ser "gateado" con una señal NIM procedente del *trigger* de primer nivel. Las señales gateadas se presentan en las salidas individuales y en la salida común de suma, de forma que esta última está formada sólo por los canales que participan en el evento.

- SUM: Unidades de suma lineal para las señales de energía provenientes de los LA&LG.

- PU&MU (*Multiplicity Unit*): Módulos a través de los que se obtienen, por una parte las señales analógicas de amplitud proporcional al número de detectores que se han disparado simultáneamente y, por otra, las señales de *gate* que habilitan las líneas de energía de los detectores. Estos módulos permiten asimismo identificar individualmente los detectores que participan en el evento.

- LGS (*Linear Gate and Stretcher*): Actúan como interfase entre las señales de energía provenientes de los amplificadores espectroscópicos de los detectores de Ge y el sistema de ADC. Sus características principales son: determinan la amplitud máxima de las señales de entrada y la mantienen durante el tiempo suficiente (del orden de cientos de μ s) para que sean convertidas por los ADC; dan una medida del tiempo de pico de las señales lineales con una resolución mejor de 50 ns; y, en base a estos tiempos, rechazan las señales en las que se ha producido "pile-up".

- GDG (*Gate and Delay Generator*): son esencialmente módulos que proporcionan las ventanas lógicas temporales para las condiciones de coincidencia y generan los retrasos necesarios para el ajuste temporal de las señales.

- MA (*Main Amplifier*): Amplificadores lineales SILENA 7611/L para el procesamiento de las señales de energía de alta resolución de los detectores de Germanio.

- T1 y T2: Módulos lógicos que producen las señales de *trigger* de primer y segundo nivel, respectivamente. El primero ocurre a nivel de los discriminadores rápidos y genera una señal que indica que se han cumplido las condiciones impuestas sobre la multiplicidad del evento. La rapidez de las señales de los discriminadores asegura un número bajo de coincidencias casuales, puesto que sólo las señales que superan este estadio son tratadas por la electrónica lineal para la adquisición de la información energética. El *trigger* de segundo nivel (T2) no ha sido aún definido; pero se prevé que operará sobre la interfase entre la electrónica y el sistema de adquisición. Las condiciones vendrán impuestas con toda probabilidad por los sistemas que actúen acoplados a GASP: el espectrómetro de masa RMS o detectores de partículas cargadas.

Los parámetros de los módulos FA&CFD y AMX/DMX son controlados remotamente desde el Sistema de Control de GASP, argumento base de esta tesis, por lo que los detalles de sus características y funcionamiento serán tratados en los próximos capítulos. El Sistema es responsable asimismo de las altas tensiones y del enfriamiento automático de los detectores de Germanio con nitrógeno líquido.

Las señales que se envían desde la sala donde está instalada la electrónica rápida hasta la sala de adquisición varían según las exigencias de cada experimento, pero en general son:

- la multiplicidad del filtro
- la energía suma del filtro
- la energía de los germanios individuales tras la supresión Compton

- los tiempos de los germanios respecto a un *trigger* común
- la multiplicidad de los germanios sin supresión
- la energía suma de los germanios sin supresión.

Estas señales analógicas son convertidas por el sistema LeCroy FERET/FERA (*Fast Encoding and Readout of TDCs and ADCs*). Para las señales de energía se ha desarrollado en el Instituto un sistema de conversión programable de alta resolución, PHOENIX [Za90], aún por integrar en la cadena electrónica de GASP.

1.3.4 Sistema de adquisición de datos

El ritmo de coincidencias dobles en los detectores HPGe de GASP después de la supresión Compton puede alcanzar fácilmente los 20-30 kHz, lo cual corresponde a un flujo de datos que supera 1 Mbyte al segundo. Para disponer de un sistema apropiado para el análisis *on-line*, capaz de producir matrices gamma-gamma y de efectuar correcciones sobre los datos en tiempo real, se ha desarrollado un nuevo sistema de adquisición específicamente dedicado a GASP [Av90], cuyo esquema se muestra en la figura 1.13.

La potencia de cálculo necesaria para poder realizar el análisis *on-line* a un coste razonable, se obtiene a través de un sistema basado en una red de *Transputers*, los cuales reciben los datos digitales que provienen del sistema de lectura FERA, escriben los eventos según un formato adecuado, producen las proyecciones de los datos, ajustan las ganancias, realizan el análisis *on-line* solicitado y almacenan los eventos en las cintas magnéticas (generalmente EXABYTE). El sistema se programa mediante un lenguaje de alto nivel (NEO, Nuclear Experiments Oriented) [Co90] explícitamente definido e implementado para la cadena de *Transputers* de GASP.

El control de todo el sistema y la visualización de los histogramas tienen lugar respectivamente desde dos estaciones gráficas conectadas entre sí, las cuales trabajan en ambiente UNIX estándar: X-WINDOW y paquetes gráficos de alta eficiencia.

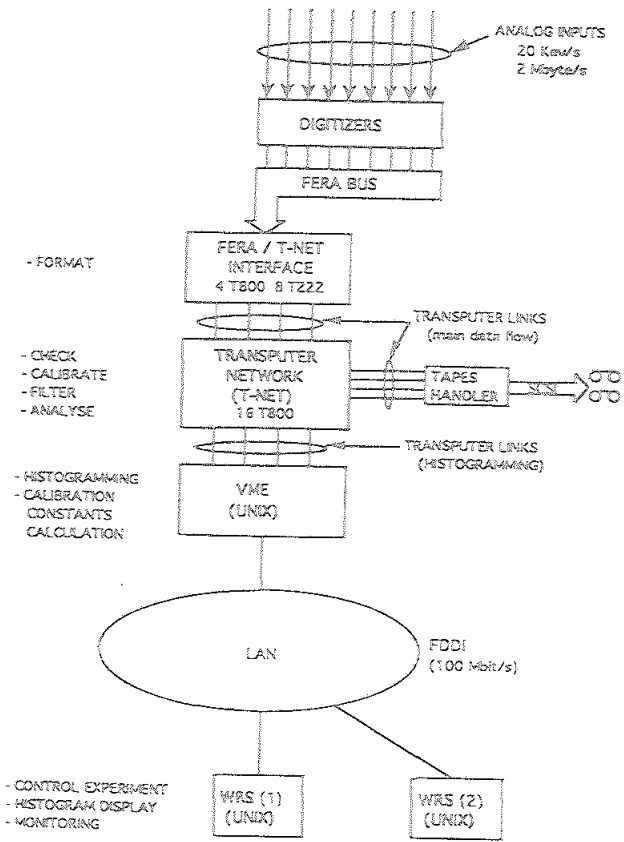


Figura 1.13: Esquema del Sistema de Adquisición de Datos de GASP (fig. tomada de [Av90]).

disponibles en el mercado.

Capítulo 2

Desarrollo de un sistema de control automático para GASP

2.1 Objetivos en el diseño de un sistema de control para GASP

El espectrómetro GASP es un instrumento que por su composición y prestaciones se sitúa entre los sistemas multidetectores existentes y proyectos más complejos como GAMMASPHERE o EUROBALL. El elevado número de detectores de que consta (160) lleva en cualquier caso a la necesidad de disponer de un sistema de control de los parámetros característicos, el cual facilite en lo posible a los distintos grupos de investigación el uso del aparato. Hasta el momento, como en el caso de Nordball, los espectrómetros disponían únicamente de automatizaciones hardware parciales (el sistema para llenar con nitrógeno líquido los detectores de germanio, la fuente de alta tensión de los tubos fotomultiplicadores,...), en general de poca fiabilidad, mientras que operaciones como dar tensión a los detectores de germanio o ajustar los parámetros de la cadena electrónica tenían que ser realizadas de forma manual. Los sistemas en proyecto que, como EUROBALL, contarán con un número aún mayor de detectores prevén la integración en un mismo sistema de las funciones de

control del instrumento y la adquisición de datos [GL91]. En GASP, básicamente, hemos pretendido desarrollar un sistema cuya característica principal sea que resulte fácil e intuitivo para el usuario. Por esta razón se eligió como ordenador desde el que realizar el control un Macintosh II, por las propiedades de su interfase con el usuario y por la posibilidad de conexión directa con otros ordenadores a través de la red Apple Talk o redes estándar, como Ethernet. El sistema debía permitir, independientemente del sistema de adquisición:

1.- Automatizar las operaciones de puesta a punto del aparato antes de la realización de alguna medida.

2.- Controlar y asegurar el perfecto funcionamiento de los detectores, del sistema de enfriamiento de los germanios y de la electrónica durante el desarrollo de los experimentos.

3.- Recuperar en el menor tiempo posible el estado del espectrómetro en caso de fallos en la alimentación eléctrica del mismo.

4.- Generar y mantener una Base de Datos con los parámetros que configuran el aparato y con la historia de los detectores en funcionamiento.

Antes de describir específicamente cómo hemos implementado el control de GASP para alcanzar estos objetivos, es importante recordar las operaciones que se realizan en la preparación de un experimento de espectroscopía γ de alto espín y que deberán ser ejecutadas en su mayoría desde el sistema de control.

2.2 Preparación de un experimento con un sistema multidetector

La realización de un experimento de espectroscopía γ de alto espín utilizando como instrumento de detección un sistema multidetector como GASP conlleva una serie de operaciones previas para la puesta a punto de los distintos detectores y de las señales de la cadena electrónica, así como la definición de los parámetros que constituyen

cada evento y que serán enviados al Sistema de Adquisición. Las operaciones de puesta a punto del aparato consisten fundamentalmente en:

- 1- El enfriamiento de los detectores de Germanio con LN_2 .
- 2- La preparación del filtro de multiplicidad.
- 3- La preparación de los sistemas Ge+Ac.

Enfriamiento de los detectores de Ge con LN_2

Los detectores de Germanio tienen que operar siempre a baja temperatura principalmente para reducir las corrientes de fuga debidas a la generación térmica de pares electrón-hueco dentro de la región de depleción del detector [Kn89]. Típicamente se utiliza el nitrógeno líquido (LN_2) para mantener el detector a unos valores de temperatura en torno a los $77^\circ K$. El cristal está instalado en un criostato el cual, por una parte proporciona una vía para la conducción del calor desde el germanio hasta el nitrógeno contenido en el depósito correspondiente y, por otra, en su interior se mantiene el cristal al vacío para aislarlo de las superficies externas más calientes [EG90]. El llenado del depósito debe realizarse al menos 24 horas antes de que el detector vaya a entrar en operación, proceso que se repite de forma regular aproximadamente cada 9-10 horas para evitar que el detector en tensión funcione sin estar lo suficientemente frío, lo cual dañaría irreparablemente el cristal.

Preparación del filtro de multiplicidad

Los pasos a seguir para la puesta a punto de los detectores del filtro y la electrónica asociada son:

- Alimentación de los tubos fotomultiplicadores (PMT).
- Normalización de la ganancia en los PMT. Puesto que uno de los parámetros que se envía al Sistema de Adquisición es la energía suma total recogida por el

filtro, es necesario que la ganancia de los detectores esté normalizada para que todos tengan la misma amplificación. Para ello, en un principio se aplica el mismo valor nominal de tensión a todos los detectores. La señal de salida de los amplificadores lineales (LA) se controla posteriormente para cada detector con un osciloscopio y un multicanal (MCA), de forma que la amplitud de la señal alcance un valor prefijado y en el multicanal las líneas de una fuente radioactiva (^{60}Co) estén siempre sobre el mismo canal. La normalización de la ganancia se lleva a cabo regulando la tensión de cada detector.

- Regulación del nivel de discriminación o umbral inferior de los CFDs, para dejar pasar las señales de baja energía pero no el ruido electrónico.

- Normalización de los tiempos. Para poner en tiempo las señales de todos los detectores del filtro se toma como referencia bien uno de dichos detectores o bien otro distinto, en general un detector de BaF_2 por sus óptimas cualidades para la temporización. La señal del detector de referencia se utiliza como START de un TAC (*Time to Amplitude Converter*) y como STOP se envían sucesivamente las señales de cada detector del filtro. Con el MCA se comprueba, regulando los retrasos, que el pico de "prompt" tenga su baricentro en el mismo canal.

- Definición de las condiciones sobre la multiplicidad. Dado que las reacciones de interés en los experimentos de espectroscopía γ de alto espín originan cascadas con un número elevado de rayos γ , un modo para limpiar el espectro de reacciones con sólo 1 ó 2 transiciones (caso de la excitación coulombiana) es fijar un número mínimo de detectores del filtro que deben dar señal contemporáneamente. Generalmente se establece un valor de 3-4 como condición de multiplicidad mínima en el filtro. El evento es considerado válido y posteriormente enviado al sistema de adquisición cuando se verifica, por una parte, dicha condición en el filtro y, por otra, la condición correspondiente en la multiplicidad de los detectores de Germanio.

Preparación de los sistemas Ge+Ac

En líneas generales, la puesta a punto de los detectores de Ge y sus correspondientes pantallas Anticompton consiste en operaciones análogas a las realizadas para la preparación del filtro, esto es,

- dar tensión a los detectores
- normalizar las ganancias
- regular el nivel de discriminación de los CFDs
- normalizar los tiempos de cada tipo de detector.

Las diferencias lógicamente provienen de las características propias de los detectores de Ge y las pantallas Anticompton. En primer lugar, el proceso de dar tensión a los germanios es, como se verá con detalle en el próximo capítulo, un proceso más delicado que dar tensión a un tubo fotomultiplicador, pues el detector puede resultar gravemente dañado si se producen descargas demasiado intensas mientras está aumentando la tensión. La señal de salida del preamplificador debe controlarse en todo momento con el osciloscopio.

La segunda diferencia fundamental es la supresión Compton, que en el caso de GASP tiene lugar a nivel de los discriminadores rápidos (ver fig. 1.12): del CFD del Ac se obtiene una señal de veto para la anticoincidencia que inhibe el funcionamiento del CFD del detector de Ge correspondiente (para una descripción más precisa se remite al apartado 3.4.1).

La regulación del umbral inferior de los CFDs resulta crítica en el caso de los Ac, ya que, desde el punto de vista de la supresión Compton, es importante que el circuito de anticoincidencia actúe realmente ante un rayo γ de baja energía y no en respuesta a una señal de ruido. Típicamente se utiliza como fuente el ^{241}Am , que tiene una línea de baja energía a 60 keV.

En relación con la temporización, los detectores de Ge se ponen en tiempo, por una parte respecto al filtro (START un detector del filtro o un BaF_2 si el filtro se

ha normalizado respecto a este último, STOP cada Ge) y, por otra, cada Ge con su Ac (para ello, se hacen coincidir el pulso lógico de salida del CFD Ac con la señal "prompt" del CFD Ge).

Finalmente es necesario controlar la resolución energética de los detectores de Ge, ajustando los parámetros de los amplificadores espectroscópicos (cancelación polo-cero, tiempo de formación de la señal,...) y calculando con el multicanal la FWHM (*Full Width at Half Maximum*) de la línea 1332 keV del ^{60}Co .

2.3 Configuración del sistema de control

2.3.1 Hardware

Los dispositivos que componen el sistema de control de GASP realizan las funciones básicas de:

- 1.- Llenado de los detectores de germanio con nitrógeno líquido.
- 2.- Dar las altas tensiones a los detectores.
- 3.- Puesta a punto de los discriminadores CFD.
- 4.- Control de las señales en puntos clave de la cadena electrónica.

El esquema de los mismos, así como el modo en que están conectados entre sí aparecen representados en la figura 2.1. En ella, las líneas discontinuas indican la conexión entre los instrumentos situados en la sala experimental donde se encuentra GASP (fuentes de alta tensión de los detectores y sistema para el control del nitrógeno líquido) y la sala de control, situada justo debajo del espectrómetro y en la que va instalada toda la electrónica rápida que sigue a los detectores. En la figura se muestran únicamente los módulos que son controlados desde el ordenador a través del sistema CAMAC.

El control se lleva a cabo desde dos ordenadores Macintosh II, uno de ellos totalmente dedicado al sistema de enfriamiento de los detectores de germanio (Macintosh IIcx). Esto es debido fundamentalmente a la importancia de asegurar en todo mo-

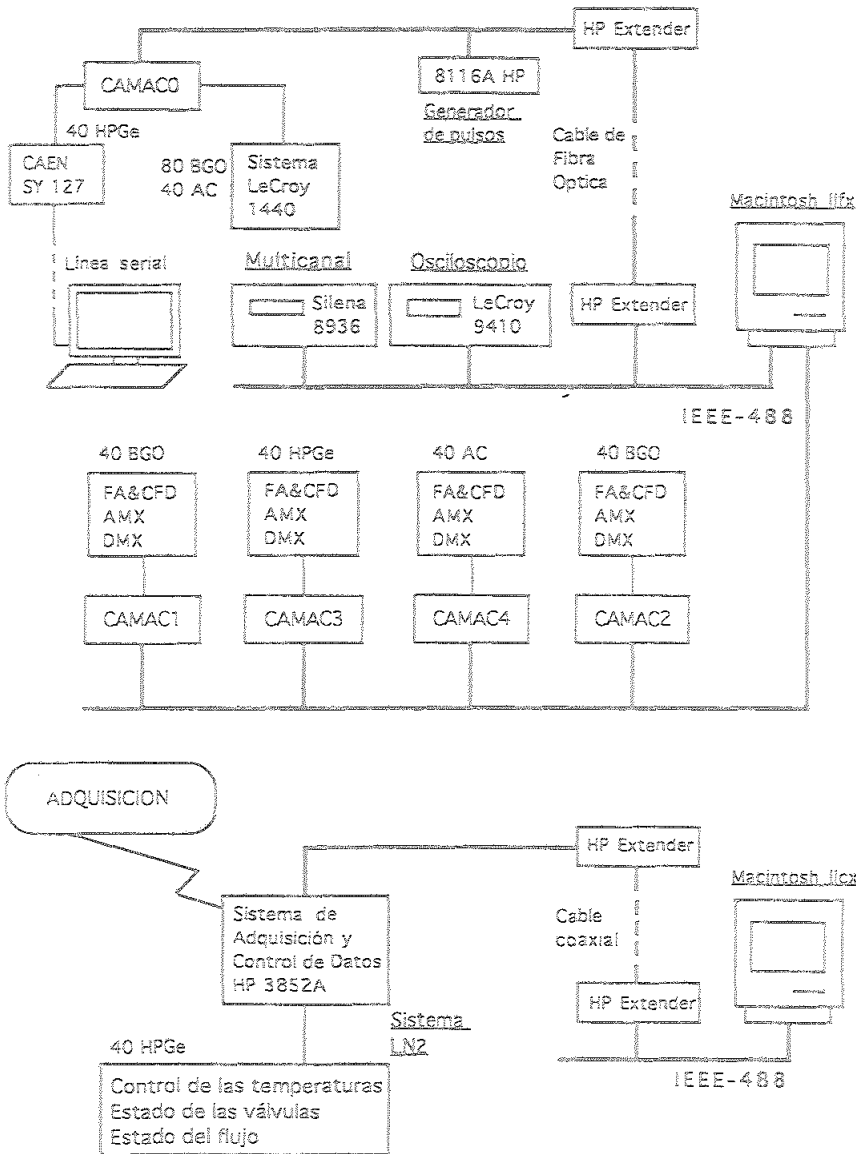


Figura 2.1: Esquema general de los instrumentos que componen el Sistema de Control de GASP y del modo de interconexión.

mento que el programa que controla dicho sistema funcione correctamente y sea lo más independiente posible del resto de los dispositivos. Las altas tensiones de los detectores, los parámetros de los discriminadores CFD y las señales provenientes de los preamplificadores, los tubos fotomultiplicadores y los CFD vienen controladas desde el Macintosh IIx. Ambos ordenadores comunican con el conjunto de instrumentos que configuran el sistema a través de la interfase IEEE-488.

En general, cuando se conectan entre sí distintos aparatos, la interfase utilizada puede ser el elemento crítico que determina la fiabilidad y el rendimiento (*throughput*) del sistema. La configuración final que se elige es pues aquella que mejor se ajusta a las prestaciones del sistema de interfase. Antes de describir las características de los instrumentos en base a las funciones que desempeñan en el control de GASP haremos, por tanto, una breve descripción de la interfase IEEE-488.

Descripción de la interfase IEEE-488/GPIB

El estándar de interfase IEEE-488 [ED81], también conocido como HP-IB (Hewlett Packard Interface Bus) o GPIB (General Purpose Interface Bus), es el sistema comúnmente utilizado a la hora de conectar distintos instrumentos de medida, por ser un sistema de costo relativamente bajo, sin dificultad de uso y que hace posible la comunicación entre aparatos que ofrecen distinto tipo de prestaciones y que vienen contruidos no necesariamente por la misma firma. La velocidad máxima de transmisión de datos que se puede alcanzar con este sistema es de 1 MByte/s. Físicamente la conexión entre los dispositivos se realiza a través de cables, cada uno de los cuales tiene en sus extremos conectores múltiples que permiten interconectar los instrumentos en el modo más adecuado según la aplicación. Para asegurar la operación apropiada de la interfase es necesario sin embargo tener en cuenta los límites del sistema en relación, por una parte, con la longitud total de los cables cuando éstos están conectados unos con otros y, por otra, con el número máximo de

dispositivos que pueden conectarse a un bus. Según dichos límites:

- a) la longitud total de los cables no debe ser superior a 20 metros;
- b) la longitud total de cable debe ser menor o igual a 2 metros multiplicados por el número de dispositivos conectados entre sí (por ejemplo, entre 2 dispositivos puede haber hasta 4 metros de cable);
- c) el número de dispositivos conectados a un bus no debe ser mayor de 15, y de ellos al menos dos tercios deben estar encendidos.

Para la comunicación con las fuentes de alta tensión de los detectores y con el sistema de Adquisición HP 3852A desde la sala de control (dichos instrumentos se encuentran en la sala de experimentación donde está GASP) era necesario pues el uso de repetidores que permitieran aumentar la distancia entre dichos dispositivos y el Macintosh correspondiente, por encima de los límites impuestos por la interfase GPIB (20 m.). Los modelos utilizados son:

- 2 unidades HP 37204A/B HP-IB Extender conectados mediante fibra óptica;
- 2 unidades HP 37203A HP-IB Extender conectados a través de un cable coaxial.

La separación máxima puede llegar entonces hasta 1250/3000 metros (cable coaxial/fibra óptica) en el primer caso y a 1000 m. (cable o fibra) en el segundo. Una vez instalados, los repetidores normalmente operan de forma automática y transparente respecto a los comandos GPIB. La velocidad de transmisión de datos se reduce sin embargo a un máximo de 60 y 50 KBytes/s, respectivamente. En cualquier caso, dicha velocidad depende de distintos factores, tales como el software utilizado, las características de los demás dispositivos en el bus o la distancia entre los repetidores.

En relación con la configuración de los instrumentos del sistema de control mostrada en la fig. 2.1, puede observarse que desde el Macintosh IIfx se controlan dispositivos conectados a dos interfaces GPIB. Las razones principales que llevaron a adoptar esta solución fueron:

- la limitación en el número máximo de dispositivos que pueden conectarse a un

bus;

- los problemas que surgieron al intentar conectar varios sistemas CAMAC a un mismo bus;

- la importancia de mantener aislado el control de las altas tensiones de los detectores, en particular el sistema que alimenta a los germanios, para evitar en lo posible que éste resultara afectado en caso de tener que conectar un nuevo dispositivo a la interfase GPIB.

Una última característica importante de la interfase IEEE-488 es el tipo de mensajes intercambiados entre los instrumentos. Estos pueden ser, bien mensajes de interfase que controlan la comunicación a través del bus (inicialización, direccionamiento,...), o bien mensajes que dependen de cada dispositivo y que contienen instrucciones de programación, resultados de medidas, información sobre el estado, etc. Los dispositivos conectados a un bus GPIB pueden desempeñar tres funciones principales: *talkers*, *listeners* y/o *controllers*. La función de *controller*, desempeñada normalmente por el ordenador, es la que gestiona los mensajes de interfase. El sistema de codificación utilizado es el código ASCII a 7 bit.

El Sistema de Adquisición y Control de Datos HP 3852A

En general, un sistema de adquisición y control es un dispositivo que contiene distintos tipos de módulos electrónicos a través de los que se miden, procesan y analizan los datos obtenidos en una determinada aplicación. Dicho sistema puede asimismo controlar o regular la aplicación en respuesta a esos datos o a alguna condición particular. La figura 2.2 muestra un sistema de adquisición y control donde estas operaciones vienen realizadas por la unidad HP 3852A [HP87]. La adquisición de datos tiene lugar a través de medidas de algún parámetro físico (tensión, temperatura,...), previamente convertido en señal eléctrica por un transductor. El sistema HP 3852A puede ser usado también para controlar el estado abierto/cerrado, on/off,

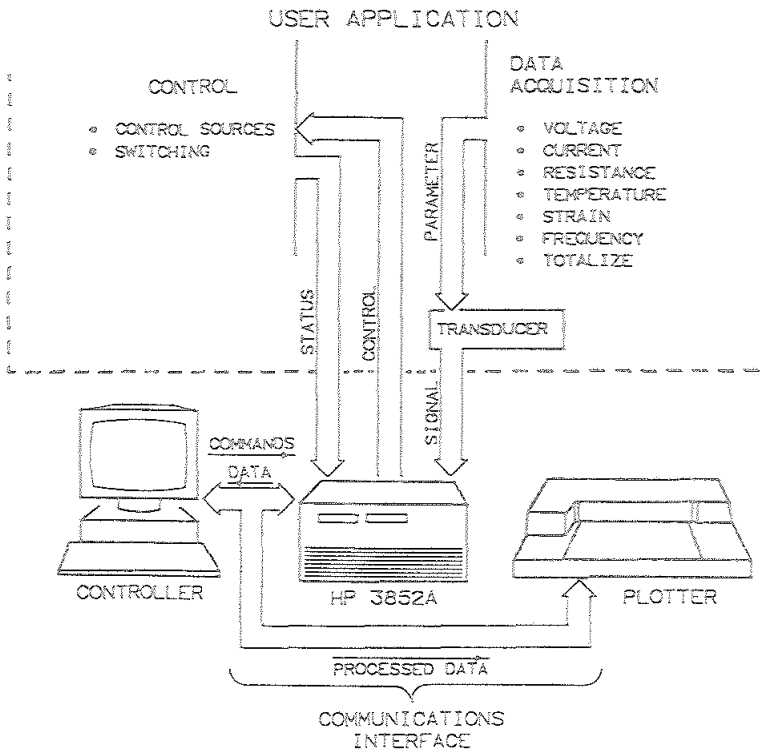


Figura 2.2: Sistema de Adquisición y Control de Datos (fig. tomada de [HP87])

o presente/ausente de algún parámetro y responder enviando las señales apropiadas de control o iniciando una medida. Estas operaciones pueden ser realizadas en intervalos de tiempo previamente definidos utilizando el reloj interno del sistema.

En GASP el sistema HP 3852A constituye la unidad básica para el control automático del sistema de enfriamiento de los detectores de germanio con nitrógeno líquido (LN_2). Los accesorios que acompañan a la unidad principal son:

- Un módulo HP 44701A "5 1/2 DIGIT VOLTMETER".
- Dos módulos HP 44706A "60 CHANNEL SINGLE ENDED RELAY MULTIPLEXER".
- Tres módulos HP 44723A "16 CHANNEL HIGH SPEED DIGITAL SENSE/CONTROL".

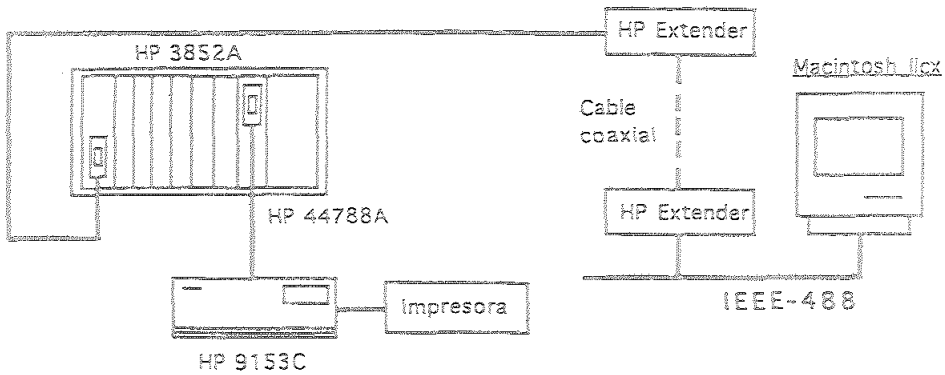


Figura 2.3: Conexión entre el Macintosh IIcx y la unidad de disco HP 9153C a través del módulo HP-IB CONTROLLER.

- Un módulo HP 44788A "HP-IB CONTROLLER".
- Una unidad de disco HP 9153C.
- Una impresora.

El voltímetro se utiliza con los multiplexer para realizar las medidas de temperatura: los canales 0 - 39 del primer HP 44706A se conectan a los detectores de germanio para el control de la temperatura de los mismos, mientras que a través de los canales 0 - 39 del segundo se mide la temperatura del nitrógeno para conocer así el estado, gas o líquido del mismo. Esta lectura es posible gracias al dispositivo de control de flujo conectado a la salida del depósito de cada detector en el cual va instalado la resistencia de platino que se conecta al módulo HP multiplexer correspondiente. El funcionamiento de dicho dispositivo de control se explicará en detalle en el próximo capítulo.

Con los módulos HP 44723A se controla el estado de las válvulas (abiertas/cerradas) en respuesta a las medidas relativas al flujo y a la temperatura de los detectores y se envía la señal de veto al sistema de adquisición de datos de GASP cada vez que se realiza el proceso de llenado de los detectores de Ge con el nitrógeno líquido.

Finalmente, el módulo HP-IB CONTROLLER y la unidad HP 9153C son los dispositivos que permiten al sistema HP 3852A llevar a cabo las operaciones anteriores sin la intervención directa del Macintosh. El sistema puede en efecto ser programado para que, al encenderse, subrutinas previamente almacenadas en un *diskette* sean leídas por la unidad de disco y cargadas en la memoria del sistema principal, el cual las ejecuta automáticamente. Se asegura así que ante un fallo en la alimentación eléctrica del sistema, éste recupere su estado y continúe realizando el control de la temperatura de los detectores sin que sea necesaria la presencia del operador. Los resultados de tales medidas pueden asimismo, independientemente del Macintosh, ser escritos en el disco fijo de la unidad HP 9153C y, cada cierto tiempo, ser sacados por la impresora conectada al HP-IB CONTROLLER (ver figura 2.3) para tener una historia de las mismas a medida que el espectrómetro ha estado en funcionamiento.

Fuentes de alta tensión de los detectores de GASP

Los sistemas que se usan para generar la alta tensión de los detectores son sistemas modulares, multicanales, a los que se puede acceder bien localmente, o bien de forma remota mediante una línea serial RS232C o via CAMAC, a través de módulos CAMAC de interfase entre las fuentes y el ordenador.

Como puede observarse en la fig.2.1, para los detectores BGO, tanto los del filtro (80) como los Anticompton (40), se utiliza el sistema LeCroy 1440 [LC85]. Mediante este sistema se pueden alimentar hasta 256 canales con una sola unidad. Las características de tensión y corriente de los módulos elegidos (modelo 1443 de 16 canales por módulo) son: ± 2.5 kV y 2.5 mA por canal. El estado ON/OFF de la alta tensión es común para todos los canales de los módulos conectados.

Para los detectores de Germanio se usa en cambio el sistema CAEN modelo SY127 [CA89], debido fundamentalmente a las mejores prestaciones de este sistema en el proceso de dar tensión de forma controlada a cada detector. En el sistema

van instalados 10 módulos de 4 canales cada uno, modelo A432 Negativo, cuyas características por canal son:

- Tensión máxima de 6 kV y resolución de 2 V.
- Corriente máxima de $200\mu\text{A}$ y resolución de 100nA.
- *Shut down* individual.

El control de la alta tensión es independiente para cada canal y el estado ON/OFF puede ser visualizado a través de indicadores LED situados junto al conector correspondiente. Por otra parte, CAEN cuenta con un sistema de protección por el que la alta tensión de un canal que intente tirar una corriente mayor del límite programado es apagada de forma automática si dicha situación de "overcurrent" dura un tiempo mayor del permitido (previamente definido en el parámetro de "TRIP"). Como protección adicional de los detectores de Germanio se ha realizado en el Laboratorio de Legnaro un circuito que, conectado al sistema CAEN, impide que se aplique tensión a un detector (o la apaga automáticamente) si:

- el cable de *Shut down* del detector no está conectado al circuito;
- no hay baja tensión (esto es, el preamplificador no está alimentado);
- el detector no está frío.

El sistema CAEN se controla también desde un terminal conectado al sistema mediante una línea serial RS232C (ver fig.2.1).

Discriminadores CFD y Multiplexers CAMAC

Los discriminadores CFD de la cadena electrónica de GASP son módulos que, junto al discriminador a fracción constante, incluyen un amplificador rápido y una sección de salida que permite controlar en anchura y retraso las señales lógicas generadas. Sus características principales son:

- Cuatro canales por módulo.
- Amplificador rápido con polaridad de entrada preseleccionada, ganancia y cons-

tantes de diferenciación e integración adecuadas según el tipo de detector con el que vaya a ser utilizado.

- Discriminador con *auto-walk*, línea de retraso y fracción que se ajustan internamente y parámetros (umbral, anchura y retraso del pulso lógico de salida) programables.

- Cuatro salidas por canal: *prompt*, *delayed*, *rejected* y *accepted* que se pueden habilitar o deshabilitar remotamente.

- Una entrada a través de la que puede realizarse la supresión Compton.

- Señales de entrada y salida del tipo NIM negativas.

Estos módulos CFD (40 en total) van instalados en cuatro unidades CAMAC y se controlan desde el Macintosh a través de la interfase GPIB (ver fig.2.1). En los mismos CAMACs se encuentran también los multiplexers analógicos y digitales, los cuales se usan para inspeccionar con el osciloscopio las señales provenientes de los detectores y los CFD, respectivamente, sin tener que desconectar ningún cable. Cada multiplexer dispone de 16 entradas y 1 salida.

Otros dispositivos

El resto de los dispositivos que componen el sistema de control de GASP son instrumentos a través de los cuales el usuario puede supervisar y caracterizar los detectores.

Estos son:

- Osciloscopio LeCroy 9410 [LC90]. Osciloscopio digital programable utilizado, por una parte, para la visualización de las señales en puntos relevantes de la cadena electrónica y, por otra, para controlar las descargas que se producen en los detectores de Germanio a medida que se les está dando la alta tensión. Si el ritmo de descargas es elevado, desde el panel frontal del osciloscopio se puede intervenir manualmente en el proceso asignando via software las funciones adecuadas al menú disponible en el instrumento.

- Multicanal Silena 8936, para la regulación de la ganancia y la normalización temporal de las señales de los detectores.

- Generador de pulsos 8116A HP, para producir las señales de test de los detectores.

2.3.2 Software

El software utilizado para programar y controlar desde el Macintosh los dispositivos a los que está conectado mediante la interfase IEEE-488 se basa en el DRIVER de la National Instruments NI-488 y en el sistema HYPERCARD con su lenguaje de programación HyperTalk.

La programación de los instrumentos se lleva a cabo a través de una serie de funciones con los comandos apropiados en cada caso. El Sistema de Adquisición y Control de Datos HP 3852A requiere asimismo la sintaxis del lenguaje de programación BASIC para la comunicación con los dispositivos conectados al sistema a través del módulo HP 44788A "HP-IB CONTROLLER".

El driver NI-488

Para comunicar desde el Macintosh con los instrumentos compatibles con el bus IEEE-488 es necesario:

1) Instalar en el Macintosh una interfase hardware GPIB. Para GASP se usan dos circuitos impresos NB-GPIB con el Macintosh IIfx y uno con el Macintosh IIcx.

2) Instalar el paquete software "NI-488 Macintosh OS" que acompaña al circuito y que constituye el *driver* NI-488. El software NI-488 [NI90] incluye rutinas de interfase específicas para distintos lenguajes de programación, programas que comprueban que el circuito NB-GPIB y el driver NI-488 estén bien instalados, un programa para la configuración de los dispositivos conectados a la interfase y, finalmente, un programa para el control interactivo del bus, el cual puede utilizarse para

la detección de errores en la comunicación con los dispositivos.

3) Configurar los dispositivos desde el Panel de Control del Macintosh. Cada instrumento viene caracterizado por:

- Un nombre simbólico (como CAMACO o SCOPE).
- Una dirección GPIB o número en el rango de 0 a 30, el cual debe coincidir con el número asignado al dispositivo, bien a través de interruptores de selección situados en la parte trasera del aparato o, en algunos casos, mediante un programa software.
- Un tiempo límite para ejecutar ciertas funciones, el cual asegura que si el instrumento no está encendido o algún problema afecta al aparato, la transferencia de datos a través del bus no quede suspendida de forma indefinida.
- El modo en que terminan las transmisiones I/O hacia y desde el dispositivo (con un carácter *End-Of-String* o un mensaje de *END*).

La figura 2.4 muestra como ejemplo la configuración de la unidad HP 3852A, a la cual le viene asignada de fábrica como dirección GPIB el número 9.

Las llamadas a los dispositivos se ejecutan a través de un conjunto de funciones de alto nivel, las cuales permiten el acceso o control de los instrumentos en el bus tratando de forma automática el protocolo GPIB necesario para la comunicación. La forma que presentan es

IBfunción (ud, lista de parámetros)

donde

- IBfunción es el nombre de la función GPIB.
- ud ("unit descriptor") es la referencia del dispositivo al cual va a acceder la función.
- lista de parámetros son los argumentos de la función (ej: nombre y longitud del comando que se envía, número de bytes que se quieren recibir con la función de lectura, etc.).

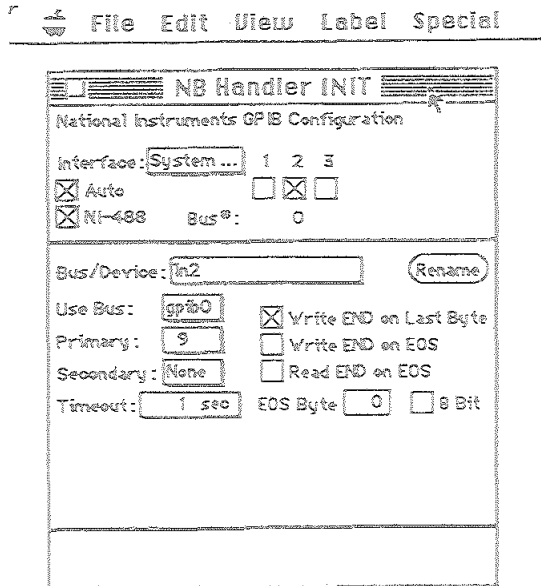


Figura 2.4: Configuración de la unidad HP 3852A en el Panel de Control del Macintosh.

IBFIND, IBWRT e IBRD son las funciones más utilizadas. La primera es necesaria para inicializar el dispositivo y devuelve un número que sirve como referencia a dicho dispositivo (ud). Con IBFIND se asocia el nombre de una variable en el programa de aplicación (cuyo valor es el número ud) con el nombre que se le dió al dispositivo en la configuración. IBWRT e IBRD son funciones I/O para escribir y leer del dispositivo, respectivamente.

Todas las operaciones ejecutadas mediante las funciones GPIB generan: información concerniente al estado del bus tras ser ejecutada la función (IBSTA), información sobre posibles errores (IBERR) y el número de bytes transmitidos (IBCNT).

El sistema HyperCard y el lenguaje de programación HyperTalk

El sistema HyperCard [Go90] es una aplicación de gestión de base de datos, que desde 1987 forma parte del software disponible en el Macintosh y que permite al usuario crear y desarrollar sus propias aplicaciones sin necesidad de entrar en la

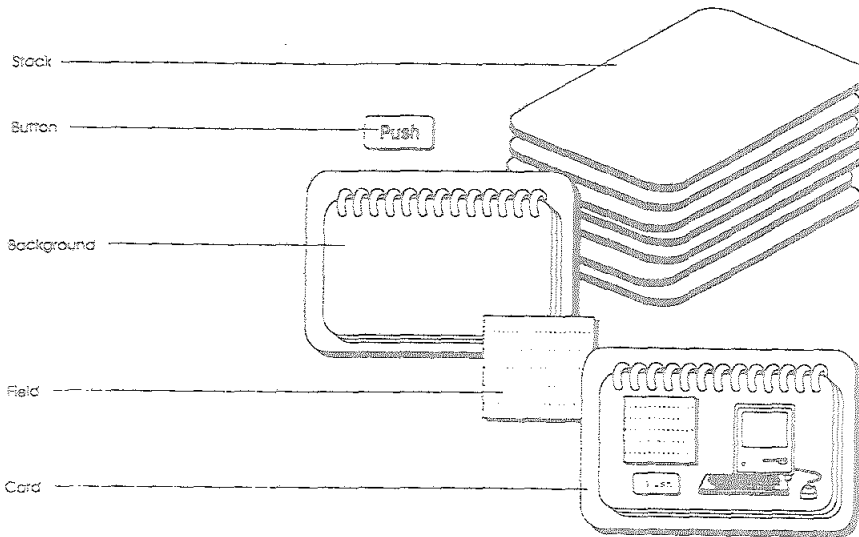


Figura 2.5: Objetos de HyperCard (fig. tomada de [Ap90]).

complejidad del Macintosh en sí. En el caso de la implementación del sistema de control de GASP se tuvo en consideración la importancia de elegir un sistema como HyperCard, que permitiera acceder y manejar de una forma rápida e intuitiva toda la información relativa al instrumento, también a personas no expertas en el terreno de la programación. Las principales prestaciones del sistema son:

1) HyperCard permite organizar información a través de sus documentos base, que reciben el nombre de "stacks". Los elementos que configuran un stack son: las tarjetas, los "backgrounds" o esquema común a distintas tarjetas, los campos o elementos donde se introduce texto y los botones sobre los que se actúa con el ratón para ejecutar distintas acciones. (Ver figura 2.5).

2) Con HyperCard el usuario puede disponer de los recursos contenidos en el sistema operativo del Macintosh: menús, ventanas, sonidos, gráficos, efectos visuales de animación, etc.

3) Dispone de un lenguaje de programación, HyperTalk, cuyas características

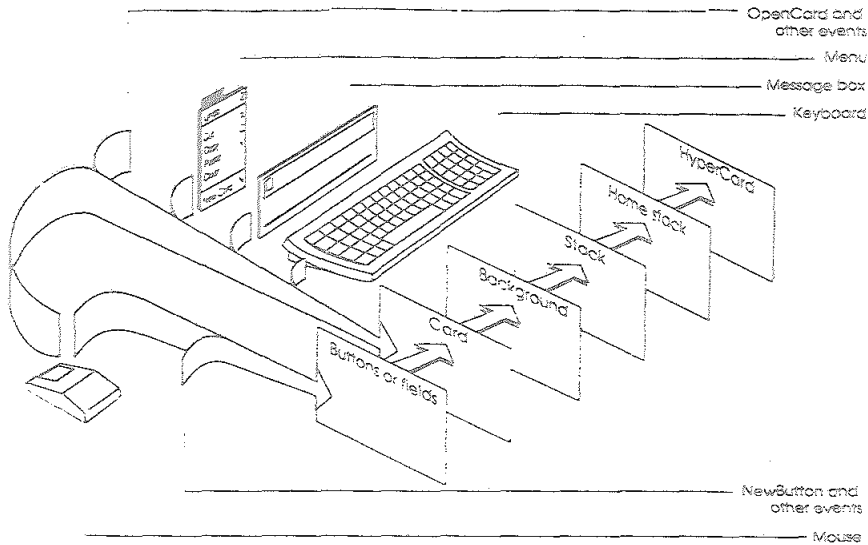


Figura 2.6: Transmisión de un mensaje a lo largo de la jerarquía de HyperCard (fig. tomada de [Ap90]).

principales son:

- es un lenguaje simple, con unas reglas de sintaxis extremadamente flexibles;
- es fácil de mantener y modificar;
- permite realizar acciones sobre los objetos de HyperCard: *stacks*, *backgrounds*, *tarjetas*, *campos* y *botones*. Cada objeto puede tener asociado un código, llamado "script", con los mensajes a los que dicho objeto debe responder;
- los mensajes, que son generalmente acciones del usuario, se transmiten siguiendo la jerarquía del sistema HyperCard, tal y como se representa en la figura 2.6. Si un objeto recibe un mensaje para el que no tiene escrito ningún código, lo pasa al objeto situado en un nivel superior de la jerarquía.

4) Su interfase gráfica con el usuario es tal que cualquier aplicación resulta intuitiva y de fácil operación.

El código necesario de interfase con el driver NI-488 viene incluido en el paquete software "NI-488 Macintosh OS". Dicho código consiste fundamentalmente en un

conjunto de variables globales y de funciones que permiten la comunicación y el control desde HyperCard de los instrumentos GPIB.

2.4 Implementación del sistema de control

El principio que hemos seguido para la implementación de las distintas funciones que el sistema de control debe realizar durante la puesta a punto y el desarrollo de un experimento con GASP ha sido diseñar un conjunto de *stacks*, conectados entre sí mediante comandos de HyperTalk (ver figura 2.7). Básicamente cada uno de ellos se corresponde con un instrumento del sistema de control y contiene las funciones que permiten la comunicación con cada dispositivo. El sistema se completa con un *stack* de carácter general, denominado "GASP DeskTop", el cual constituye la interfase principal entre el usuario y el sistema de control, y el *stack* "HpGe Store", que contiene los datos relevantes y la historia de todos los detectores de Germanio de GASP. La Base de Datos del sistema con la configuración de los detectores y la electrónica en funcionamiento está incluida en el *stack* "GASP DeskTop".

La conexión software entre los *stacks*, que simula la conexión física a través del bus GPIB y del sistema CAMAC, se basa en una propiedad de HyperCard que permite reducir la cantidad de código necesario en las aplicaciones con múltiples *stacks*, los cuales frecuentemente tienen funciones y recursos comunes. Mediante los comandos "START USING" y "STOP USING" es posible introducir un *stack* en la jerarquía del *stack* en uso, de forma que éste tiene acceso a los recursos y funciones contenidas en el primero. Se pueden introducir hasta un máximo de 10 *stacks* entre el *stack* en uso y el *stack* "Home" (*stack* especial de HyperCard). Como ejemplo, se muestran en la figura 2.8 los *stacks* "HP 3852A ACQ" y "CAEN HV", desde los cuales se pueden llamar las funciones escritas en los *stacks* "GPIB Interface" y "CAMAC".

El usuario puede configurar cada dispositivo del sistema de control bien accedien-

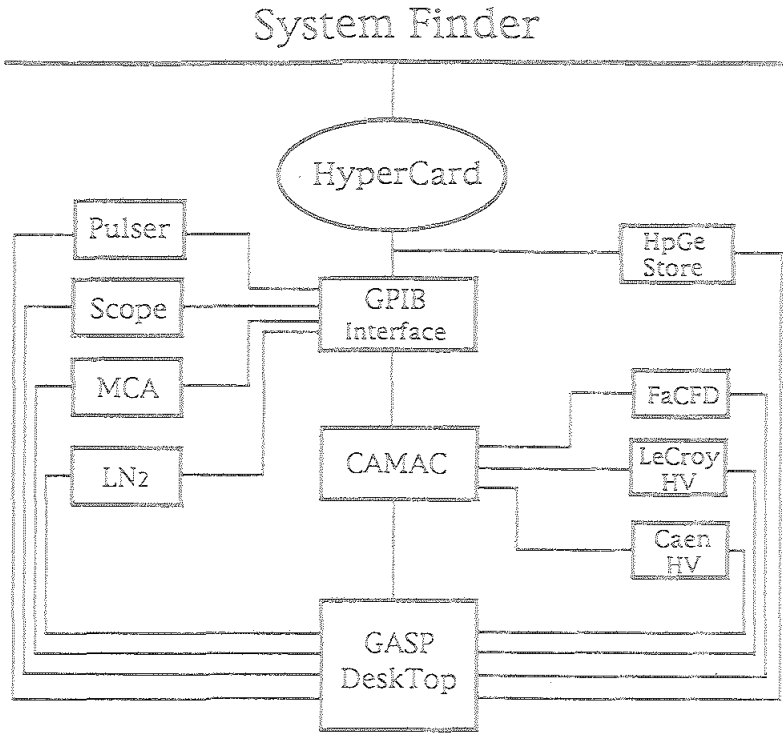


Figura 2.7: Representación de los stacks del Sistema de Control.

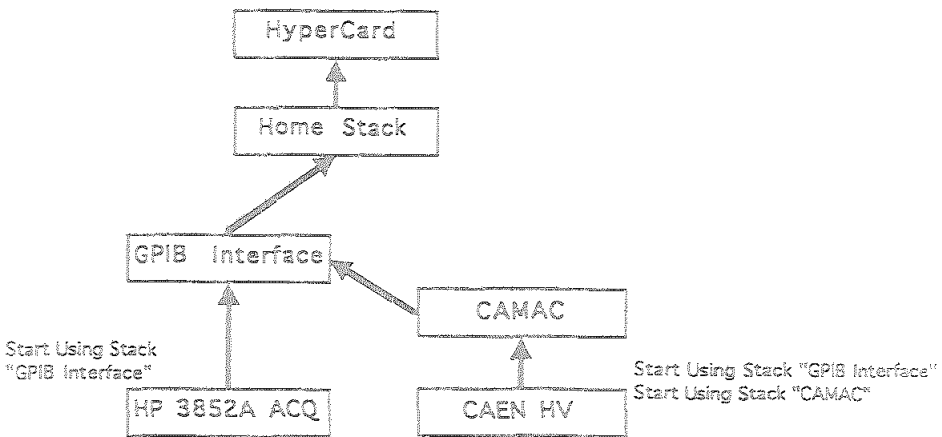


Figura 2.8: Representación de la jerarquía de mensajes desde los stacks "HP 3852A ACQ" y "CAEN HV" una vez introducido el comando "Start Using".

do a él directamente desde el *stack* correspondiente, o bien desde el *stack* "GASP DeskTop". En este caso, puede cargar la configuración existente en la Base de Datos y los cambios posteriores que realice resultan salvados en modo automático y transparente. Los *stacks* individuales permiten caracterizar cada dispositivo aun cuando no formen parte del sistema de control de GASP y localizar posibles fallos en el funcionamiento del mismo o realizar pruebas sin que la configuración salvada en la Base de Datos resulte afectada por ello. En general, el modo en que se introducen o se obtienen los parámetros y el diseño de los objetos de HyperCard utilizados es similar al presentado en la tarjeta respectiva del *stack* "GASP DeskTop". El usuario puede así familiarizarse fácilmente con el modo de configurar los dispositivos antes de operar con ellos desde el *DeskTop*. También aparecen en estos *stacks* mensajes de ayuda en relación con el significado de los distintos objetos diseñados.

Las tarjetas que componen el *stack* "GASP DeskTop" (la primera de las cuales aparece representada en la figura 2.9) pueden dividirse, según la función que realizan, en tres grupos principales:

1. Tarjetas para configurar y verificar el estado de los dispositivos implicados en un experimento.
2. Tarjetas para la caracterización de los detectores, los sistemas de alta tensión y los discriminadores CFD de la cadena electrónica.
3. Tarjetas para la Base de Datos.

En el momento actual de implementación del sistema, el control del enfriamiento de los detectores de Germanio con nitrógeno líquido no está aún integrado en el *DeskTop* y se realiza únicamente desde el *stack* individual correspondiente. Dicha conexión está sin embargo prevista, tal y como se observa en las figuras 2.7 y 2.9.

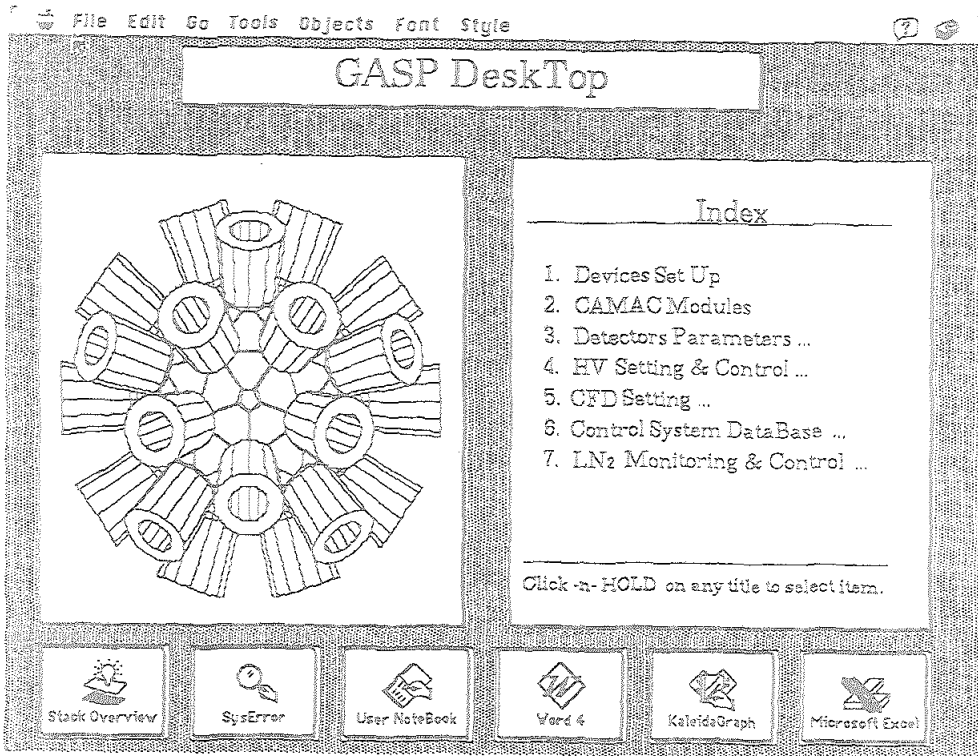


Figura 2.9: Menú principal del stack "GASP Desktop".

Capítulo 3

Programación de los dispositivos

3.1 Variables globales del sistema: *stack* “GPIB Interface”

Como ya se mencionó en el capítulo anterior, la comunicación desde HyperCard con los dispositivos GPIB es posible gracias al código de interfase incluido en el paquete software “NI-488 Macintosh OS”, concretamente en el conjunto de *stacks* que constituye el software Hyper488. A partir de ellos desarrollamos nuestra aplicación, en la cual el *stack* “GPIB Interface” representa la interfase entre el driver NI-488 y los *stacks* del Sistema de Control.

Este *stack* contiene efectivamente las variables globales necesarias para acceder al driver (tomadas del software Hyper488), las que se utilizan para la comunicación a través de la interfase CAMAC y las funciones básicas usadas por el resto de los *stacks* de GASP para abrir los dispositivos, inicializarlos, revisar sus direcciones en el bus y efectuar las operaciones de lectura y escritura. En el *stack* “GPIB Interface” se encuentran asimismo las funciones que devuelven información sobre el estado de la interfase GPIB y del driver NI-488 y aquéllas que envían mensajes de aviso al

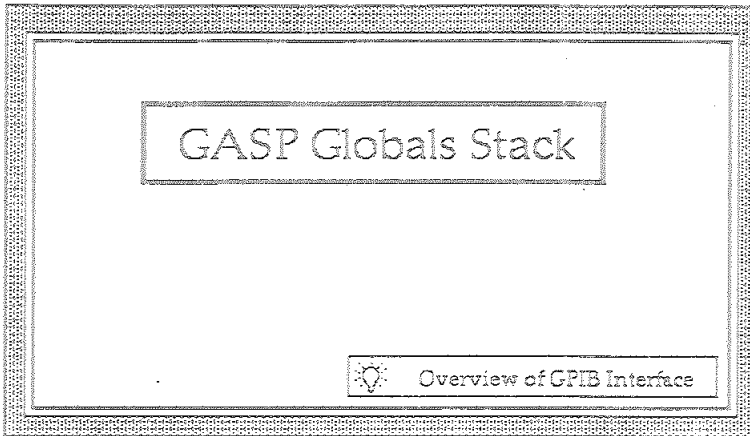


Figura 3.1: Stack “GPIB Interface”.

usuario en caso de que ocurran errores durante el desarrollo de alguna operación.

Desde el *stack* “GPIB Interface” no se realiza ninguna acción directa sobre los dispositivos, tal y como puede observarse en la figura 3.1.

3.2 Comunicación a través del sistema CAMAC

La interfase CAMAC constituye uno de los elementos clave del Sistema de Control, dado que tanto las fuentes de alta tensión de los detectores como los discriminadores CFD en la cadena electrónica son controlados a través suyo. Ello significa que la caracterización de dichos dispositivos tiene lugar mediante funciones que no sólo llaman las funciones básicas de lectura y escritura contenidas en el *stack* “GPIB Interface”, sino que deben seguir el protocolo de comunicación CAMAC y usar previamente las funciones contenidas en el *stack* “CAMAC” (ver fig.2.7).

Antes de describir el *stack* en sí recordaremos brevemente cómo se realiza el intercambio de información entre el ordenador y los módulos contenidos en un sistema CAMAC, así como los problemas que surgieron en la fase 1 de desarrollo del Sistema de Control en relación con la función de lectura del driver NI-488. Durante la fase 2, o fase en la que se instalaron los dispositivos en el Laboratorio de Legnaro y se

completaron los programas para la puesta en funcionamiento de GASP, los problemas que se presentaron fueron más de tipo hardware en cuanto que una conexión válida entre los sistemas CAMAC y el Macintosh dependía seriamente del número y el modo en que las unidades se conectaban a un mismo bus GPIB. Como solución se adoptó la configuración representada en la figura 2.1.

3.2.1 Descripción del sistema

CAMAC es un estándar de interfase que fue definido en 1969 por el comité europeo ESONE (*European Standards of Nuclear Electronics*) para poder disponer de un sistema modular normalizado que conectara una unidad principal de control (ordenador) con distintos módulos electrónicos [ED81].

El sistema está formado por los módulos instalados en un receptáculo conocido con el nombre de "*crate*" y el elemento que constituye la interfase con el ordenador y que gestiona el flujo de información a través del sistema, o "*crate controller*". Para GASP se utiliza el modelo "3988 GPIB Crate Controller" de la *Kinetic Systems Corporation* [Ki87].

Los módulos son las unidades funcionales base del sistema, cada uno de los cuales se individualiza a través del número de estación N (1-23), o posición física del módulo en el *crate*. Las dos últimas estaciones, 24-25, son ocupadas por el *crate controller* y operaciones internas al mismo vienen indicadas con N=30. Para cada módulo existen subdirecciones, A (0-15), mediante las cuales pueden especificarse hasta 16 secciones o registros distintos del módulo seleccionado.

La comunicación entre el *crate controller* y los módulos se establece a través de un conjunto de líneas (*Dataway*) situadas en la parte posterior del *crate*, las cuales están agrupadas en distintos buses según el tipo de datos que se transmite por ellas. Estos son: un bus de control (17 líneas), un bus de lectura (24), un bus de escritura (24) y líneas para las tensiones de alimentación (13). Los comandos pueden dividirse

en tres grupos: lectura, escritura y control. El código de función F (0-31) indica a cuál de ellos pertenece el comando particular que se quiera enviar. Señales comunes a todos los módulos en el *crate* son las señales de Inicialización (Z), Borrado (C) e Inhibición (I).

El modo en que los datos se transmiten a lo largo de las líneas de interconexión, el número de bytes de que consta cada transferencia y el control de la información de estado que recibe el usuario se programan en los registros internos del *crate controller*. Posteriormente, el intercambio de datos entre los módulos, el *controller* y el ordenador se lleva a cabo enviando los parámetros NAF (Número de estación, Subdirección y Código de función), seguidos de los datos (operaciones de escritura únicamente), a través de las funciones del driver NI-488 IBWRT e IBRD.

Los problemas con la función de lectura IBRD surgieron como consecuencia del modo en que se realiza la comunicación Macintosh-CAMAC a través de HyperCard. En la interfase CAMAC, todos los comandos y datos se transfieren codificados en hexadecimal, no en caracteres ASCII. Sin embargo, en la comunicación a través del bus GPIB los datos están codificados en ASCII y son aceptados asimismo por IBRD como caracteres ASCII [NI90]. Desde el lenguaje HyperTalk, por una parte, no es posible transformar estos datos en un formato hexadecimal y, por otra, las variables pueden contener únicamente cadenas de caracteres. En el caso particular en que el *controller* envíe un byte nulo, representado en hexadecimal como 00, IBRD lo interpreta como el carácter ASCII NUL, que en C (HyperCard es un sistema escrito en C) significa el final de una cadena de caracteres. IBRD ignora pues cualquier byte de información que siga a dicho byte nulo. Para poder leer correctamente los datos enviados por el *crate controller* se recurrió a una extensión de HyperCard [Go90] que permite escribir comandos (XCMD) y funciones (XFCN) en otros lenguajes de programación, como C o Pascal, y añadirlas al sistema mediante la aplicación *ResEdit* del Macintosh. Se escribió así una nueva función de lectura, a la que se le

dió el nombre "IBRDT", que realiza la doble transformación: en primer lugar, leer el byte codificado ASCII que llega de la interfase GPIB como un número entero y, posteriormente, convertirlo en formato ASCII para que pueda ser leído desde HyperTalk eliminando así el efecto del byte NUL.

3.2.2 Caracterización desde el Sistema de Control: *stack* "CAMAC"

Para comunicar desde el Macintosh con los módulos electrónicos CAMAC y los dispositivos que utilizan este sistema de interfase hemos desarrollado un *stack* que, por una parte contiene el código necesario para dicha comunicación y, por otra, permite al usuario caracterizar a través de los parámetros NAF cualquier módulo CAMAC instalado en un *crate*, independientemente de que forme parte del sistema de control de GASP.

Las funciones implementadas pueden dividirse en dos grupos:

a) Funciones para acceder a los registros internos del *crate controller*. A través de ellas y utilizando las subdirecciones A y los códigos de función F adecuados es posible escribir y leer los cinco registros que controlan el intercambio de datos entre los módulos y el ordenador [Ki87]. Para todas las operaciones internas, el número de estación N es siempre 30.

b) Funciones que responden a operaciones propias de la aplicación, esto es: inicializar el sistema, asegurar la presencia de un módulo en una posición determinada del *crate*, obtener información de estado, codificar y decodificar los datos en el modo adecuado y realizar acciones en respuesta a mensajes de HyperCard.

El usuario interactúa directamente con el sistema a través de dos tarjetas contenidas en el *stack* "CAMAC" (ver figura 3.2). La primera de ellas permite programar los registros internos del *controller* y ejecutar las operaciones de inicialización, borrado, eliminación de la señal de inhibición y lectura de los registros. Con la segunda pueden realizarse las operaciones básicas de escritura y lectura de

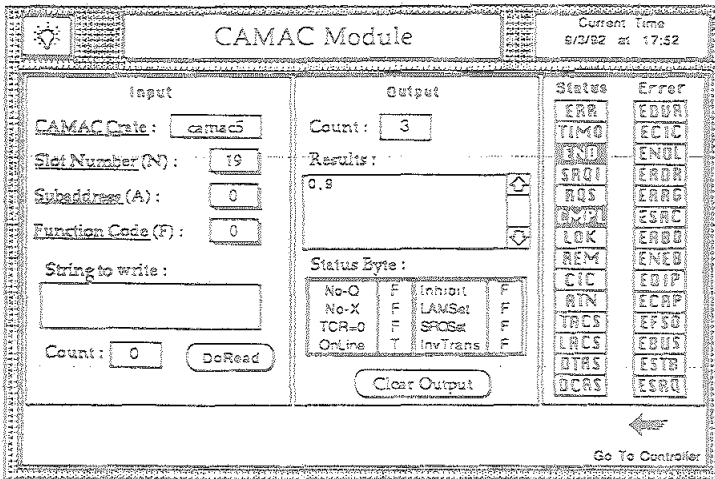
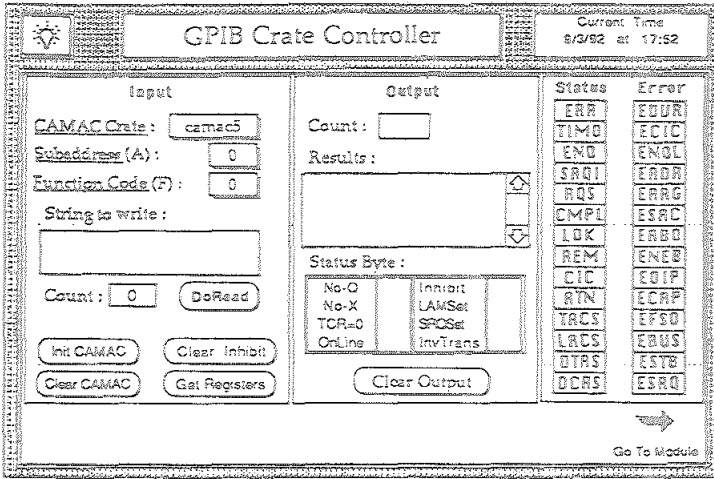


Figura 3.2: Tarjetas para la programación de los módulos CAMAC desde el Macintosh.

los parámetros que caracterizan a un determinado módulo en el *crate*. El *stack* contiene asimismo una explicación general de funcionamiento y envía mensajes de ayuda al usuario cuando éste pasa el cursor sobre los botones y campos con los que se configura el sistema.

3.3 Programación de las fuentes de alta tensión de los detectores de GASP

En GASP, la programación y el control de los sistemas de alta tensión CAEN SY127 y LeCroy 1440 se realiza desde el Macintosh a través de los módulos de interfase CAMAC "CAEN Modelo C139" y "LeCroy Modelo 2132", respectivamente. El software que hemos desarrollado es un software dedicado consistente en un conjunto de funciones escritas en HyperTalk y una interfase gráfica que permite al usuario configurar ambos sistemas en modo simple e intuitivo. Dicha interfase está constituida por los *stacks* "CAEN HV" y "LeCroy HV", y por las tarjetas correspondientes contenidas en el *stack* general de control "GASP DeskTop".

Las funciones implementadas pueden agruparse cualitativamente en tres niveles diferentes de programación:

1) Funciones básicas CAMAC. Son funciones a través de las cuales se llevan a cabo las operaciones de escritura y lectura de los parámetros que caracterizan cada uno de los sistemas de alta tensión. Los comandos correspondientes se envían siguiendo el protocolo de comunicación CAMAC descrito en el apartado 3.2.1.

2) Funciones para la aplicación de la alta tensión. Dependen del tipo de detectores que se quiere alimentar y, en consecuencia, del proceso a seguir en cada caso.

3) Funciones de interfase con el usuario. Permiten programar ambos sistemas de alta tensión desde el Macintosh realizando a través de objetos de HyperCard acciones similares a las que se realizarían en un control manual.

3.3.1 Control CAMAC de los sistemas CAEN SY127 y LeCroy 1440

El protocolo de comunicación a través del que se ejecutan las acciones básicas de lectura y escritura se basa en el uso de tres funciones CAMAC en el caso del sistema CAEN (F17, F0 y F16) y dos en el caso de LeCroy (F2 y F16).

En el primero, F17 se utiliza para seleccionar el canal o grupo de canales sobre el que se realizará la operación sucesiva. En los bytes de datos se especifican el número de la unidad (*Mainframe*) y el número de canal (0-39 indica un canal físico en particular, 50 todos los canales y 70 permite el acceso a los bits de protección), mientras que la subdirección A selecciona el parámetro deseado (tensión, corriente, tipo de canal, estado,...) [CA]. F0 se usa para leer los valores de los parámetros y F16 para las operaciones de escritura.

Con LeCroy la subdirección es siempre cero. F2 permite la lectura de los parámetros y F16 la escritura. El sistema se configura según un esquema de codificación de los dos bytes que se envían a través del bus de escritura del CAMAC [LC89].

Cada acción de escritura y lectura se realiza en ambos sistemas siguiendo una secuencia precisa de instrucciones.

1. Escritura:

- Seleccionar el canal o grupo de canales al cual va destinado el comando.
- Verificar que no se ha producido error.
- Seleccionar el parámetro y escribir su valor.
- Verificar que no se ha producido error.

2. Lectura:

- Seleccionar el canal o grupo de canales.
- Verificar que no se ha producido error.
- Enviar la petición de lectura del parámetro deseado.

- Leer el dato.

Cada instrucción, por su parte, se lleva a cabo a través de una función CAMAC específica, con la subdirección y los datos apropiados, y la correspondiente función I/O del driver NI-488 (IBWRT o IBRDI). El comando final que ejecuta la operación debe ajustarse al siguiente formato:

Escritura:

```
put ibwrt(devNum,NAFBnBi,cnt) into it
```

Lectura:

```
put ibwrt(devNum,NAF,cnt) into it
```

```
put ibrdi(devNum,cnt) into rdBuf
```

donde

- devNum es la dirección GPIB del sistema CAMAC en el cual están instalados los módulos de interfase CAEN C189 o LeCroy 2132.

- NAFB_nB_i es el comando CAMAC constituido por el número de estación N que ocupa cada módulo CAMAC, la subdirección A y el código de función F correspondiente, y, en el caso de la operación de escritura, los dos bytes de datos. Cada uno de estos parámetros se envía como un número hexadecimal de dos cifras precedidas por los caracteres "\x".

- cnt corresponde al número total de bytes que se envían o se reciben con la función I/O.

- it y rdBuf son las variables que contienen el resultado de cada operación. La función de escritura IBWRT devuelve en it (variable especial de HyperTalk) información de estado, mientras que IBRDI devuelve los bytes de datos solicitados.

Los parámetros asociados a cada canal de alta tensión son:

- V: valor de tensión que se programa.
- Vm: valor de tensión medido por el sistema.
- I: límite programado de corriente.

- S: estado ON/OFF de la alta tensión.

En el sistema LeCroy, el valor límite de corriente y el estado ON/OFF son comunes a todos los canales presentes en la unidad.

Otros parámetros específicos del sistema CAEN son: el valor de corriente medido por el sistema (I_m), el ritmo en voltios/seg con el que aumenta o disminuye la tensión de cada canal (*Ramp-Up* y *Ramp-Down*) y el *Trip*, o tiempo máximo en décimas de segundo que puede durar una situación en la que por un canal determinado circula un valor de corriente superior al límite establecido (situación de *“overcurrent”*). Una vez transcurrido ese tiempo, el canal pasa al estado OFF al ritmo programado en *Ramp-Down*.

Para programar ambos sistemas de alta tensión hemos implementado un conjunto de funciones en el que se distinguen distintos niveles según la operación que la función debe realizar.

El nivel superior está constituido por las funciones relacionadas directamente con cada parámetro particular o con operaciones de carácter general, como por ejemplo leer toda la configuración de un sistema. El nombre de dichas funciones contiene el parámetro de interés y las variables asociadas la información requerida por las funciones del driver (no codificada aún en el formato apropiado) y por las operaciones de conversión intermedias.

Ejemplos:

cHvV devName, slotNum, mfNum, chType, target, volt

lcRdAll devName, slotNum, startCh, finishCh

donde *“cHvV”* es la función CAEN para el valor de tensión y *“lcRdAll”* la función LeCroy que lee todos los parámetros de la unidad.

El segundo nivel lo forman las funciones en las que se decide mediante una cláusula IF si se va a realizar una operación de lectura o de escritura, dependiendo de

que la variable correspondiente a los datos (“volt” en el ejemplo anterior y “state” en el próximo) esté o no vacía, respectivamente, y llama a las funciones que contienen la secuencia de instrucciones a seguir en cada caso. Así, para cambiar el estado ON/OFF de la alta tensión en CAEN se utilizan las funciones

```

on chvS devName,slotNum,mfNum,chType,targ,state
  global gErrorBoard,gStatusBoard,gMsgBoard,gMyResult
  if state is not empty then          -- Write Channel Status & Read the value
    if state is "on" then
      put "0,1" into data
    else put "0,0" into data
    set1p "chvS",devName,slotNum,mfNum,targ,7,3,data
    put cDecodeData(detChan,"chvS",chType,gMyResult) into gMyResult
  else                                  -- Read Channel Status
    if targ is "all" then
      put 50 into targ
      put 87 into bytes
    else put 3 into bytes
    put get1p("chvS",devName,slotNum,mfNum,targ,7,bytes) into locBuf
    put cDecodeData(targ,"chvS",chType,locBuf) into gMyResult
  end if
end chvS

on set1p command,devName,slotNum,mfNum,targ,sAdd,bytes,data
  global gErrorBoard,gStatusBoard,gMsgBoard,gMyResult
  set cursor to busy
  put empty into gMyResult
  put getDevNumber(devName) into devNum
  put "x"& char 3 to 4 of decToHex(slotNum) into slotNum

  caenSelectTarget devNum,slotNum,mfNum,targ
  caenReadErrorFlag devNum,slotNum
  caenWriteData devNum,slotNum,sAdd,data
  caenReadErrorFlag devNum,slotNum
  caenStartReadout devNum,slotNum,sAdd
  put caenReadValues(devName,devNum,slotNum,bytes) into gMyResult
end set1p

```

Las instrucciones “caenSelectTarget”, “caenReadErrorFlag”, “caenWriteData”, etc., son las funciones primitivas que incluyen las operaciones necesarias para convertir los valores de las variables en el formato adecuado y enviar el comando final

a la función básica mediante la que se lleva a cabo la acción de escritura o lectura propiamente dicha. Ejemplo:

```

on caenWriteData devNum,slotNum,sAdd,caenData
  global gErrorBoard,gStatusBoard,gMsgBoard,gMyResult
  global ibsta,iberr,ibcnt,errStr,F16

  set cursor to busy
  put "x"& char 3 to 4 of decToHex(sAdd) into sAdd
  put "x"& char 3 to 4 of decToHex(item 1 of caenData) into p1
  put "x"& char 3 to 4 of decToHex(item 2 of caenData) into p2
  put slotNum& sAdd& F16& p1 &p2 into cmd
  wrtHex devNum,cmd
end caenWriteData

```

Todas las funciones a través de las que se programan los sistemas CAEN y LeCroy están contenidas en el editor de los *stacks* "CAEN HV" y "LeCroy HV", respectivamente, y pueden ser llamadas asimismo desde el *stack* "GASP DeskTop". A su vez, desde estos *stacks* se llama a las funciones básicas de lectura y escritura ("wrtHex" en el ejemplo anterior) que se encuentran en el *stack* "GPIB Interface" y que contienen la instrucción final con la función correspondiente del driver, tal y como se muestra a continuación

```

on WrtHex dev,cmd
  global ibsta,iberr,ibcnt,errStr
  global gErrorBoard,gStatusBoard,gMsgBoard,gMyIBSTA

  set cursor to busy
  put "wrtHex, dev=" & dev into str
  put length(cmd)/4 into cnt
  put ibwrt(dev,cmd,cnt) into it
  if (ibsta is not 256) and (ibsta is not 8448) then
    getStatus
    if gMyIBSTA contains "ERR" then checkGpibError str
  end if
end WrtHex

```

3.3.2 Aplicación de la alta tensión

En la programación de los sistemas CAEN y LeCroy pueden distinguirse dos diferencias fundamentales:

- 1) Los comandos CAMAC y la codificación de los bytes de datos para programar las distintas funciones.

- 2) El modo en que se aplica la alta tensión a los detectores.

La primera se debe exclusivamente a las características particulares de cada sistema, mientras que la segunda es consecuencia del tipo de detector que alimentan (detectores de Germanio y tubos fotomultiplicadores de los detectores BGO, respectivamente) y de las precauciones que hay que tomar en cada caso.

Con los detectores de Germanio, dos son los requisitos que se tienen que cumplir para que el cristal no resulte dañado con la aplicación inicial de la alta tensión:

- 1) Enfriar los detectores con nitrógeno líquido al menos 24 horas antes de que vayan a entrar en operación.

- 2) Realizar el proceso de aumentar la tensión lentamente y controlando con el osciloscopio la señal de salida del preamplificador.

En caso contrario, las descargas originadas por las corrientes de fuga en el detector pueden destruirlo completamente o dañar partes de la electrónica del preamplificador.

Con los tubos fotomultiplicadores, en cambio, dar toda la tensión de una sola vez no supone ningún peligro para el detector, ya que ésta se aplica al fotocátodo de cada tubo (cuando se usa alta tensión de polaridad negativa) y al circuito divisor de tensión a través del que se polarizan los díodos para la multiplicación de los electrones. Las acciones a realizar se reducen pues a introducir el valor nominal de tensión para cada detector (indicado en la tabla 3.1) y enviar el comando que enciende la alta tensión.

Para los detectores de Germanio, además de la función que simplemente envía

Detector	Valor medio de alta tensión (voltios)
Germanio	- 4000
PMT BGO Filtro	- 2000
PMT BGO AC	- 1000

Tabla 3.1: Tensiones de operación de los detectores de GASP (PMT: *Photomultiplier Tube*).

el comando "HV ON", hemos implementado una función alternativa mediante la cual es posible controlar de forma automática las descargas que se producen en el detector. El usuario puede elegir entre ambas opciones, a través de una ventana de diálogo de HyperCard, una vez que ha accionado el botón "Turn_ON_HV" (ver figura 3.6).

El proceso seguido para dar tensión en modo controlado, tal y como se haría manualmente, se ilustra en los diagramas de flujo de las figuras 3.3, 3.4 y 3.5. Si el valor de tensión que se quiere programar supera un cierto límite y si se verifican los requisitos que aseguran que el detector está en condiciones de operación, se divide dicho valor final de tensión en tres partes y se definen tres valores de *RampUp* (ritmo al que aumenta la tensión en el detector), de forma que en la primera y la última fase, en las que con mayor probabilidad se producen las descargas más intensas, la tensión se aplica a un ritmo menor que en la fase intermedia.

El aumento de tensión se controla con el osciloscopio a través de la función "Monitor RampUp" (fig. 3.5). Esta llama a funciones contenidas en el *stack* "LeCroy Scope", las cuales por una parte configuran el osciloscopio con los parámetros adecuados para visualizar correctamente la señal del preamplificador y, por otra, definen unos comandos ("Kill", "Stop", "Pause" y "Continue") que el usuario puede ejecutar desde el panel frontal del instrumento y que le permiten intervenir en el proceso. Las descargas se detectan programando el *trigger* para señales positivas. La función "Monitor RampUp" interrumpe el aumento de tensión en el detector cuando el número de descargas supera un cierto valor, bien momentáneamente dejando que la

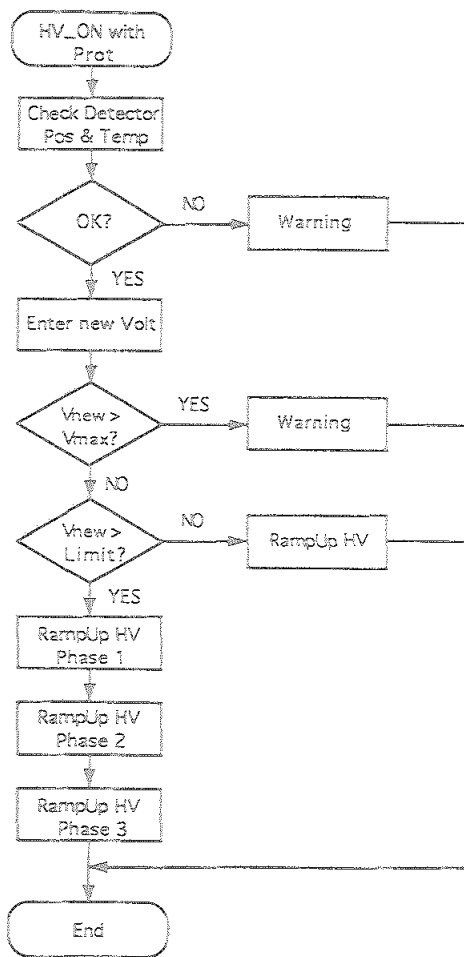


Figura 3.3: Función para dar tensión a los detectores de Ge controlando la señal de salida del preamplificador.

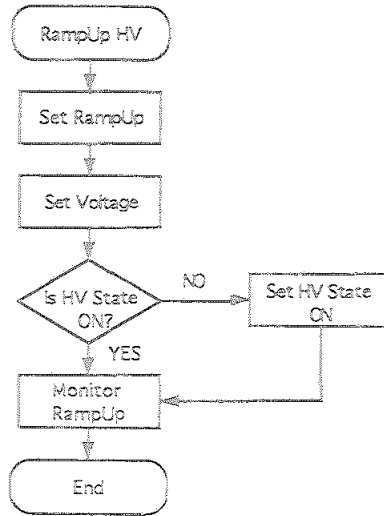


Figura 3.4: Función que asigna el ritmo al que se aumenta la tensión del detector y el valor de la misma en cada fase del proceso.

señal se estabilice, bien definitivamente si habiéndose efectuado un número determinado de pausas el ritmo de descargas continúa siendo elevado.

3.3.3 Interfase con el usuario

El último grupo de funciones mediante las que se configuran los sistemas de alta tensión de GASP está formado por aquellas funciones que interpretan la acción ejecutada por el usuario, construyendo el mensaje con los comandos y parámetros correspondientes y enviándolo a lo largo de la jerarquía de HyperCard hasta el objeto en cuyo editor está escrita la función que debe responder a dicho mensaje.

También en este grupo se encuentran las funciones que gestionan la presentación y actualización de los datos relativos a cada canal de alta tensión, así como el mantenimiento de la Base de Datos en caso de que el usuario modifique el valor de un parámetro y la operación se lleve a cabo en modo correcto.

La figura 3.6 muestra las tarjetas del *stack* "GASP DeskTop" a través de las que el usuario configura y controla los parámetros de alta tensión de los detectores de

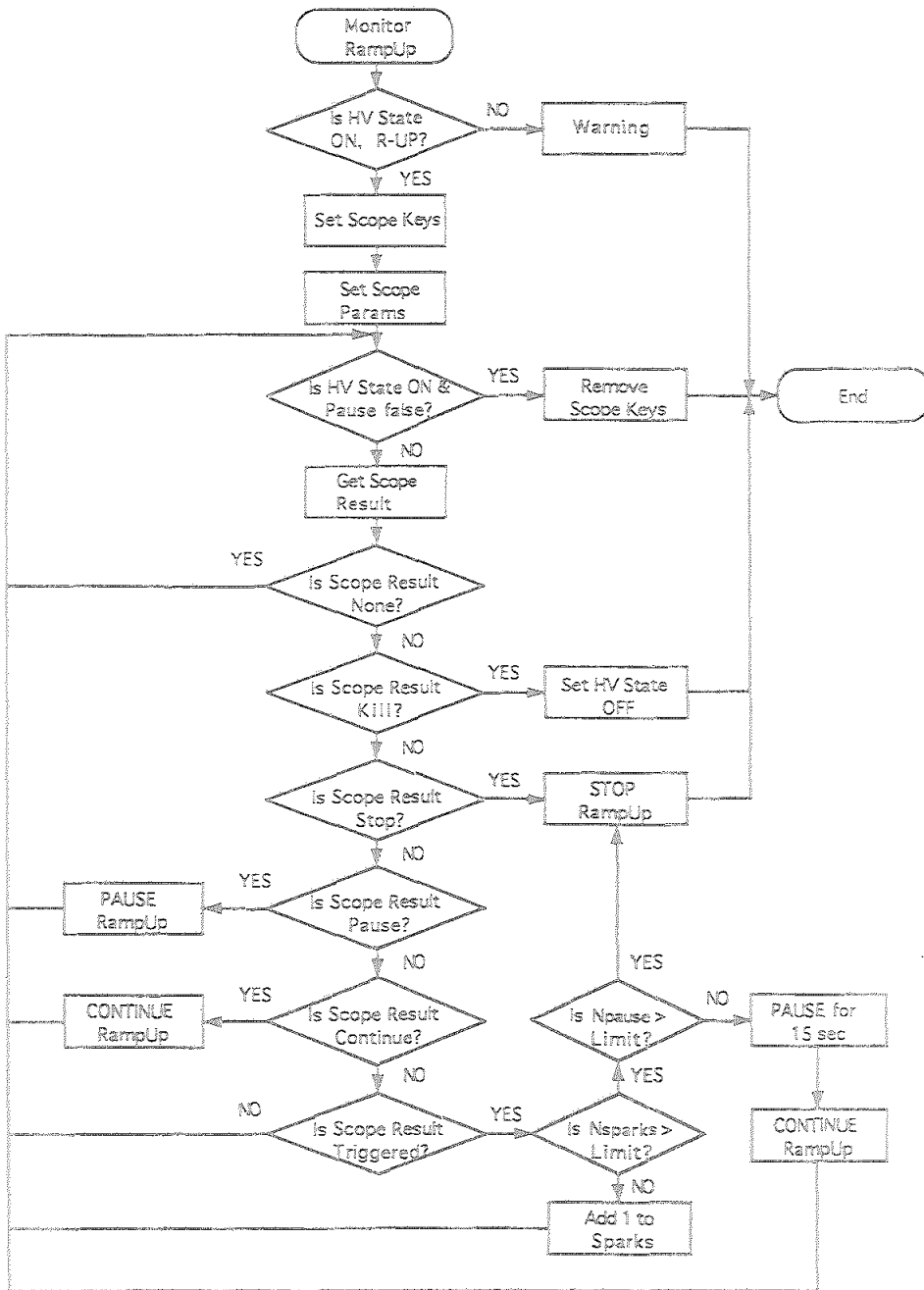


Figura 3.5: Función para controlar a través del osciloscopio el aumento de tensión en el detector.

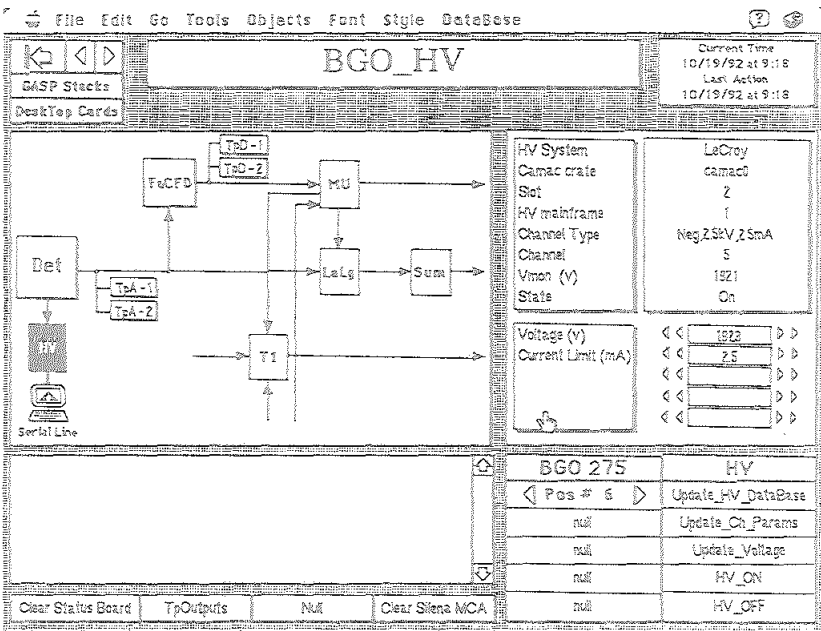
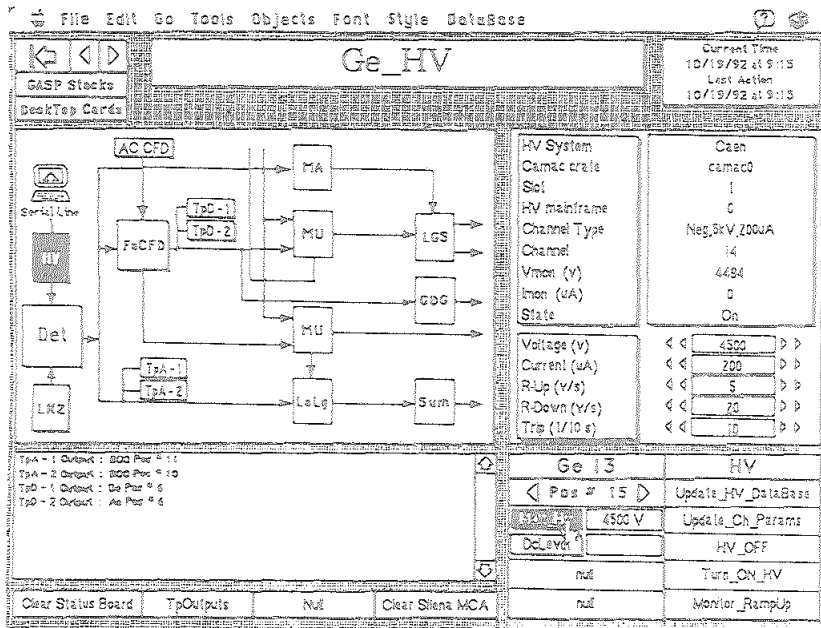


Figura 3.6: Tarjetas del stack "GASP DeskTop" para el control de las altas tensiones (detectores de Ge y BGO del filtro).

Germanio y de los detectores BGO del filtro (la tarjeta para los AntiCompton es análoga a esta última). Básicamente son tres los tipos de acciones que el usuario debe realizar:

1. Modificar el valor de los parámetros.

2. Actualizar en la Base de Datos la configuración de un canal o de todo el sistema.

3. Encender o apagar la alta tensión.

Asimismo, los *stacks* "CAEN HV" y "LeCroy HV" permiten al usuario manipular ambos sistemas de alta tensión independientemente del *stack* general de control y de la Base de Datos del sistema.

3.4 Control de la electrónica rápida CAMAC

Como ya se ha mencionado en el primer capítulo (apartado 1.3.3), la cadena electrónica de GASP y en particular los módulos a través de los que se obtiene la información temporal, ha sido diseñada y construida en el Instituto con el fin de disponer de un sistema compacto, con el menor número posible de módulos y de cables de interconexión, y cuyas características principales pudieran ser controladas desde el ordenador. Así por ejemplo, una implementación con electrónica comercial implicaría utilizar, para cada uno de los 160 canales temporales, un amplificador rápido, un discriminador a fracción constante (CFD) y al menos un generador de retrasos y puertas de inhibición (GDG). Todo ello sin tener en cuenta los módulos necesarios para realizar la supresión Compton y el *trigger* de primer nivel.

El CFD CAMAC de 4 canales desarrollado en el Instituto integra en un solo módulo el amplificador rápido, la lógica para la supresión Compton y un GDG [Bu92]. Por otra parte, mediante unidades multiplexer analógicas y digitales pueden inspeccionarse con el osciloscopio las señales provenientes directamente de los detectores y de los CFD, respectivamente, seleccionando la señal de interés desde el

ordenador sin necesidad de desconectar ningún cable.

Las funciones CAMAC utilizadas y la caracterización de dichos módulos desde HyperCard se describen a continuación.

3.4.1 Discriminadores CFD

El control de los módulos CFD CAMAC se lleva a cabo a través de las funciones de lectura F0 y de escritura F16, e indicando con el valor de la subdirección A el parámetro y el canal que se desean seleccionar. Cada módulo consta de 4 canales de entrada y 4 posibles salidas por canal:

- Una salida P "prompt" consistente en un pulso rápido negativo, producido como respuesta inmediata a la señal de entrada.

- Tres salidas (D retrasada, R rechazada y A aceptada) por las que se obtiene un pulso lógico negativo, retrasado respecto a la señal anterior.

El retraso del pulso lógico respecto a la señal de "prompt", su anchura y el nivel al cual se discriminan las señales de entrada son los parámetros que pueden controlarse vía CAMAC. Asimismo, estos módulos CFD disponen de un byte mediante el que es posible habilitar o deshabilitar las distintas salidas. El significado de cada bit es

O O O A R P D G

donde A, R, P y D corresponden a las cuatro salidas y G es un bit de control general que las habilita o deshabilita todas con un único comando.

A través de las subdirecciones se seleccionan los registros asociados a cada canal y los parámetros relativos. Así,

- A 0-3, indica el umbral de los canales de entrada 1, 2, 3 y 4, respectivamente.
- A 4-7, el byte que habilita las salidas.
- A 8-11, el retraso del pulso lógico.
- A 12-15, la anchura del mismo.

La supresión Compton en los detectores de Germanio puede realizarse con es-

tos discriminadores gracias a una entrada adicional de inhibición presente en cada módulo. La salida *Delayed* de los CFD AntiCompton se conecta al CFD del Germanio correspondiente y, si dicha entrada recibe una señal, el pulso lógico estará presente en la salida *Rejected*, mientras que, en caso contrario, éste aparecerá en la salida *Accepted*, la cual está conectada directamente con los ADC del sistema de adquisición.

La estructura de las funciones HyperTalk implementadas para el control de los módulos desde el Macintosh sigue en líneas generales el esquema de las funciones a través de las que se programan los sistemas de alta tensión: funciones asociadas a cada parámetro que llaman a otras funciones primitivas mediante las cuales se envían los comandos CAMAC NAF que ejecutan las operaciones de escritura y lectura. Ejemplo:

```
on cSetCfdT devName,slotNum,Channel,Data      -- Set Threshold
  global gMyResult

  put Channel+0 into sAdd
  put cfdIncodeData("cSetCfdT",Data) into theData
  writeNAF devName,slotNum,sAdd,theData
  put readNAF(devName,slotNum,sAdd) into locBuffer
  put CfdDecodeData("cGetCfdT",locBuffer) into gMyResult
end cSetCfdT
```

donde "cSetCfdT" asigna, en primer lugar y a través de "writeNAF", el valor *Data* del umbral de discriminación al canal *Channel* del CFD instalado en el número de estación *slotNum* de la unidad CAMAC *devName*; posteriormente, mediante "readNAF" y una función de decodificación, obtiene de nuevo dicho valor, verificando así que la operación de escritura precedente se ha efectuado sin error.

El usuario puede caracterizar cada módulo bien desde el *stack* "CFD", que contiene las funciones anteriores de control, o bien desde el *stack* "GASP DeskTop".

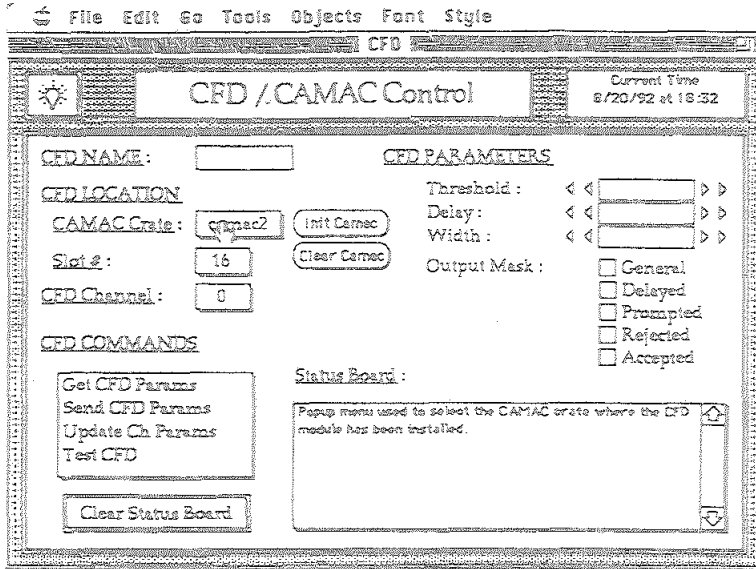


Figura 3.7: Control de los discriminadores CFD desde el *stack* "CFD".

Stack "CFD"

Este *stack* está compuesto por una tarjeta cuya misión principal es permitir al usuario, por una parte modificar o leer la configuración de cualquier módulo CFD instalado en una unidad CAMAC y, por otra, verificar mediante una función de test el correcto funcionamiento del mismo antes de conectarlo a la cadena electrónica general.

El criterio que hemos adoptado en el diseño de los objetos de HyperCard a través de los que se modifica el valor de los parámetros se ajusta en lo posible al modo Macintosh. Esto es, el usuario puede introducir un nuevo valor ya sea escribiendo directamente en el campo correspondiente y enviándolo con un *Return* desde el teclado, o utilizando las flechas para seleccionar el valor y enviarlo posteriormente con un "click" sobre el mismo, acción que lo confirma como valor final. La habilitación o deshabilitación de las distintas salidas se lleva a cabo asimismo mediante "clicks" sobre la opción deseada.

Tal y como se observa en la figura que representa dicha tarjeta (fig. 3.7), el

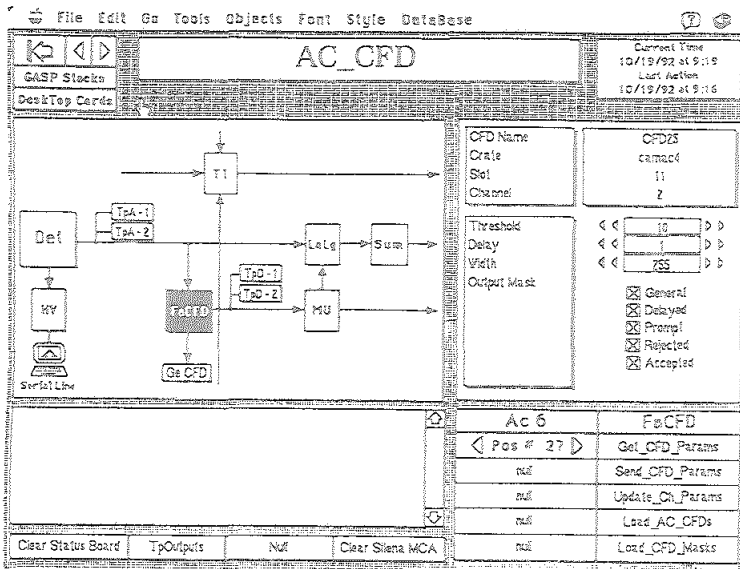


Figura 3.8: Control de los discriminadores CFD de GASP desde el stack "GASP DeskTop".

usuario recibe información sobre el significado y la función realizada por los distintos objetos diseñados, simplemente pasando el cursor sobre cada uno de ellos.

Stack "GASP DeskTop"

Para programar los módulos CFD que forman parte de la cadena electrónica de GASP se utilizan las tarjetas correspondientes (tres, una para cada tipo de detector) contenidas en el stack "GASP DeskTop". El diseño de las mismas está compuesto básicamente por (ver figura 3.8):

- Un esquema que representa la cadena electrónica del detector y en el que aparece seleccionado el módulo "FaCFD".
- Un panel que permite conocer los resultados de las operaciones efectuadas.
- La configuración de cada módulo: nombre asignado, dirección CAMAC y valores de los parámetros. Estos últimos se modifican como en el stack "CFD".
- Información sobre el detector al que está conectado: número de identificación

del mismo y posición que ocupa en el espectrómetro.

- Funciones generales para el control de los parámetros y las operaciones de puesta a punto.

En relación con estas funciones, cabe destacar aquéllas que actúan sobre todos los CFD asociados a cada tipo de detector. Así, tal y como se muestra en dicha figura 3.8 para los AntiCompton, "Load AC CFDs" asigna a cada CFD los valores salvados en la Base de Datos y "Load CFD Masks" los configura con el mismo patrón de habilitación/deshabilitación de las salidas. Dichas funciones facilitan considerablemente las tareas de puesta a punto de las señales de tiempo de los detectores y la recuperación del estado de los discriminadores en caso de que ocurran fallos en la alimentación eléctrica de los mismos.

3.4.2 Unidades multiplexer analógicas y digitales (AMX/DMX)

Los dos tipos de multiplexer que forman parte de la electrónica de GASP son módulos CAMAC, con 16 canales de entrada y 1 de salida, diseñados en el Instituto con el propósito fundamental de permitir el acceso a las señales de la cadena electrónica desde un punto común de control [Ca92]. De este modo, es posible inspeccionar y efectuar las operaciones necesarias para el ajuste y la regulación de dichas señales sin necesidad de desconectar ningún cable.

Básicamente se necesitan dos niveles de multiplexers para seleccionar una señal de cada uno de los 160 canales temporales: el primero está formado por las unidades que reciben las señales que se quieren inspeccionar, mientras que el segundo conecta directamente con el punto de control. Como ejemplo, se representa esquemáticamente en la figura 3.9 la configuración adoptada para controlar a través de los multiplexer analógicos AMX las señales provenientes de cada uno de los detectores de GASP.

Cada canal de entrada puede seleccionarse via CAMAC mediante la función F16

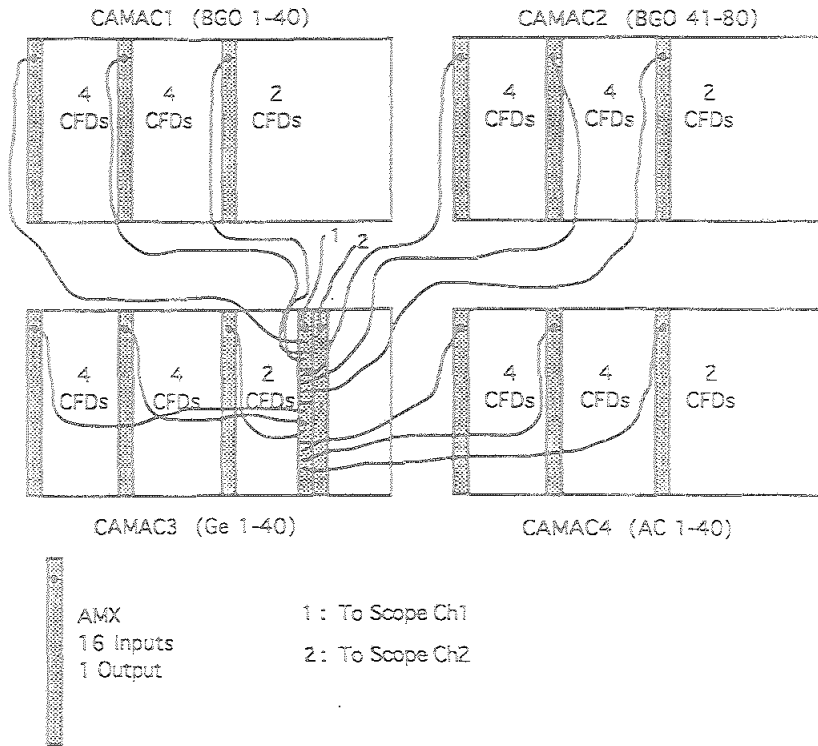


Figura 3.9: Representación esquemática de la conexión entre los distintos multiplexers para la inspección de las señales de los detectores de GASP.

o manualmente desde el panel frontal. Una vez seleccionado, dicho canal se visualiza a través de indicadores LED y su lectura CAMAC puede realizarse con la función F0. La subdirección A es irrelevante en ambos casos y se le asigna valor cero.

Desde el punto de vista de la programación de los módulos, la acción de seleccionar un determinado canal se descompone en una secuencia de operaciones que sigue la trayectoria de la señal a través de los distintos multiplexers. Así, dado un detector, estas operaciones son:

1. Buscar en la Base de Datos los multiplexers a los que está conectado (fig.3.10).
2. Buscar en la Base de Datos la posición del primer multiplexer dentro de la configuración CAMAC. Ejemplo:

AMX19, camac3, 1

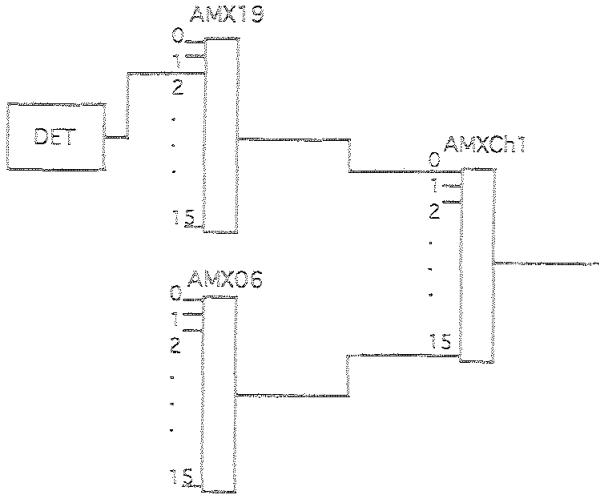


Figura 3.10: Representación de la conexión entre un detector y los multiplexers analógicos.

donde “AMX19” es el nombre asignado al multiplexer, “camac3” la unidad CAMAC y “1” el número de estación que ocupa.

3. Construir el comando CAMAC NAF, especificando en las líneas de escritura el canal a seleccionar.

4. Enviar el comando de escritura y verificar posteriormente con una lectura del mismo que la operación se ha efectuado sin error. En caso contrario, se envía un mensaje de aviso al usuario para que éste actúe en consecuencia.

5. Repetir 2, 3 y 4 para el segundo multiplexer de la configuración.

6. Actualizar la Base de Datos. Esto es, escribir *On* en el nuevo canal seleccionado y *Off* en el anterior.

El usuario accede a cada una de las señales desde las tarjetas del *stack* “GASP DeskTop” relativas a la configuración de los dispositivos (ver, por ejemplo, las figuras 3.6 ó 3.8). Así, para visualizar una señal en el osciloscopio debe sólo accionar uno de los botones de “Test Point” del esquema electrónico y el estado de

dicho botón cambiará en consecuencia. Al pasar a otro detector, los "Test Point" aparecen seleccionados o deseleccionados dependiendo del estado On/Off del canal correspondiente.

Asimismo, el usuario puede en todo momento conocer qué detector esté conectado a cada "Test Point" accionando el botón "TpOutputs". El resultado se muestra entonces en el panel de respuestas, tal y como puede observarse en la tarjeta "Ge_HV" (fig.3.6).

3.5 Sistema automático para el control del enfriamiento de los detectores HPGe de GASP con nitrógeno líquido

La implementación de un sistema para controlar la temperatura de los detectores de Germanio y realizar el llenado periódico de los mismos con nitrógeno líquido (LN_2) constituye una parte necesaria del proyecto GASP debido fundamentalmente a la complejidad del aparato. Factores como el número elevado de detectores de Germanio (40), su disposición alrededor del blanco y las diferencias en el tiempo que se mantienen fríos (~ 10 -20 horas) hacen que los sistemas de llenado automático comerciales resulten insuficientes para garantizar el enfriamiento de los detectores durante el período de funcionamiento del espectrómetro (generalmente, meses).

Como subsistema del Sistema de Control de GASP hemos desarrollado, por tanto, el software necesario para asegurar que los detectores de Germanio operan a la temperatura del nitrógeno líquido. Dicho subsistema se basa en el uso de la unidad de Adquisición y Control de Datos HP 3852A, con los accesorios descritos en la sección 2.3.1, como unidad responsable del control y un Macintosh IIcx y el sistema HyperCard para la interfase gráfica con el usuario.

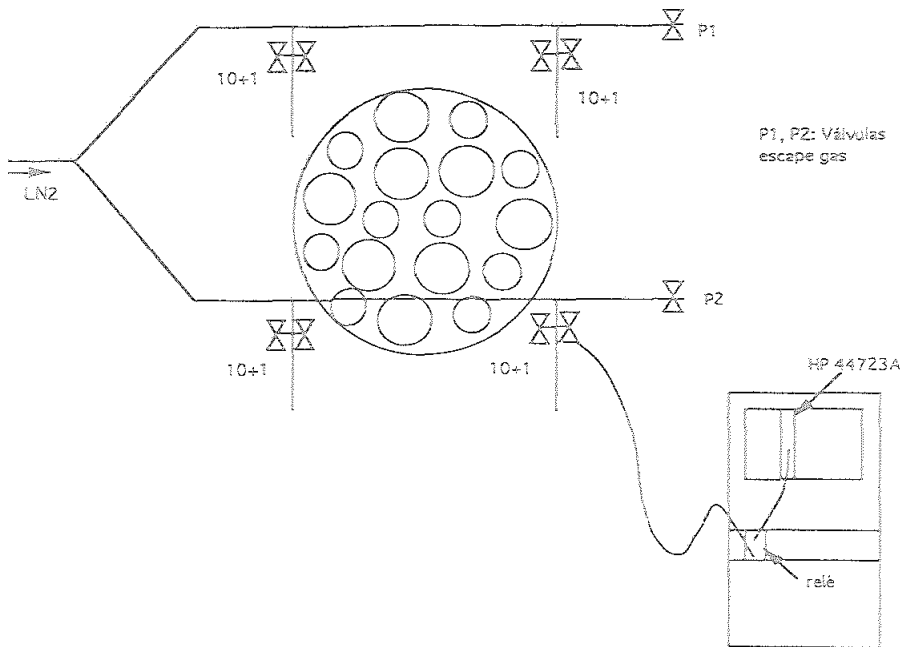
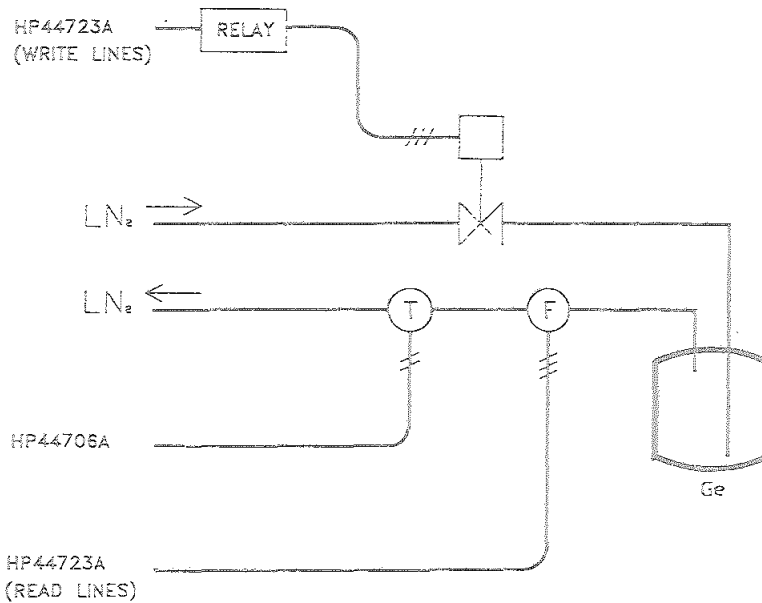


Figura 3.11: Representación de la estructura de GASP, las tuberías a través de las que llega el nitrógeno líquido a los detectores HPGe y el Sistema de Adquisición desde el que se comanda el estado de las válvulas.

3.5.1 Descripción general de la estructura mecánica

El nitrógeno líquido de los detectores de GASP se almacena en un tanque de 5000 litros de capacidad, situado en el exterior del edificio donde está instalado el espectrómetro, y llega a los detectores a través de un conjunto de tuberías que conectan el tanque con la esfera. En el interior de dichas tuberías el vacío aísla el tubo por el que fluye el nitrógeno y disminuye así las pérdidas durante el transporte. Al llegar a la esfera (ver fig. 3.11), la línea se divide en dos brazos en los cuales se distinguen: una primera sección flexible, que permite los movimientos de apertura y cierre de las semiesferas en la estructura mecánica de GASP; una parte central que sostiene cuatro columnas a través de las que se distribuye el nitrógeno; y, en los extremos, unas válvulas mediante las que se deja escapar el gas acumulado en las tuberías



HP44723A "16 CHANNEL HIGH SPEED DIGITAL SENSE/CONTROL"
 HP44706A "60 CHANNEL SINGLE ENDED RELAY MULTIPLEXER"

Figura 3.12: Dispositivos para el control del flujo del LN₂.

mientras no circula nitrógeno líquido por ellas. En cada una de las cuatro columnas de distribución se disponen escalonadamente once válvulas, de las cuales una sirve como válvula de escape del gas o como válvula de repuesto y las diez restantes se conectan a las bayonetas de los detectores.

El ensamblaje mecánico que controla la transferencia de nitrógeno (ver fig. 3.12) está compuesto por una servoválvula, aislada térmicamente con poliestireno y conectada al Sistema de Adquisición y Control a través de unos relés, y un dispositivo de control de flujo formado por un sensor que indica la presencia de flujo y una resistencia de platino PT100 mediante la que se conoce la temperatura del gas. Ambos elementos de control están montados en una pieza de teflón instalada en el canal por

el que se expulsa el nitrógeno hacia el exterior. De este modo, el sensor asegura que cuando una válvula está abierta existe realmente flujo a través suyo y la resistencia permite realizar medidas de la temperatura del nitrógeno para detectar el momento en el que del depósito comienza a salir líquido y hay que cerrar la válvula.

3.5.2 Definición del Programa de Control

En la implementación del software, el objetivo fundamental es diseñar un sistema que garantice el enfriamiento de los detectores de Germanio durante el período (meses) en que éstos están en operación. Para ello, las funciones que cíclicamente se tienen que realizar son:

1. Leer la temperatura de los detectores que están con tensión y verificar que los valores obtenidos están dentro de los límites de seguridad previamente definidos. En caso contrario, avisar al usuario, apagar directamente la alta tensión del detector en el que se haya producido la alarma y forzar una operación de llenado.

2. Llenar los detectores con el nitrógeno líquido en el tiempo prefijado (generalmente, cada 9 horas), excepcionalmente antes, si es requerido por el usuario como consecuencia de un aumento anómalo en la temperatura de algún detector. Previamente es preciso mandar una señal al Sistema de Adquisición de Datos de GASP para interrumpir la adquisición durante el proceso.

3. Generar y mantener una historia con la evolución de las temperaturas mientras los detectores están en operación. El control de las mismas después de una fase de llenado resulta particularmente importante, pues permite detectar posibles fallos en el funcionamiento del sistema.

Para que estas operaciones puedan efectuarse con éxito durante meses, el requisito principal que el sistema debe satisfacer es que sea autónomo. Esto es, los procesos de llenado tienen que iniciarse y completarse sin que sea necesaria la intervención del usuario. En caso de que ocurran fallos en la alimentación eléctrica o problemas

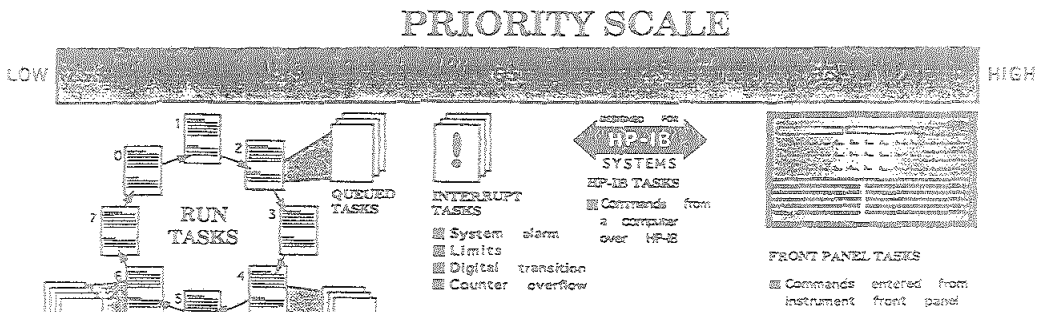


Figura 3.13: Modo de operación MULTITASKING de la unidad HP 3852A.

en la ejecución de los comandos, la unidad responsable del control tiene que ser capaz de auto-recuperarse, puesto que la no implementación del código significaría dejar que los detectores se calentasen sin apagar primero la alta tensión, provocando daños irreparables en los mismos. Por ello se eligió el Sistema de Adquisición y Control de Datos HP 3852A, por su flexibilidad a la hora de configurar y programar una aplicación y su capacidad de funcionar autónomamente. Otros aspectos importantes del sistema son:

- Las subrutinas en BASIC que pueden cargarse en la memoria del sistema desde otro ordenador y se ejecutan al ser llamadas remotamente o desde otras subrutinas.
- La posibilidad de operar en modo *Multitasking* (ver figura 3.13), en el que pueden definirse hasta 8 procesos, llamados "run tasks", desde los cuales se ejecutan las subrutinas. A cada proceso se le asigna un período de tiempo y una prioridad, de forma que el sistema va pasando de uno a otro activando la subrutina correspondiente.
- Las interrupciones en tiempo real, ya sea desde el panel frontal, desde algún accesorio o desde alguna subrutina de más alta prioridad.

El segundo requisito que el Sistema de Llenado Automático debe cumplir está relacionado con la implementación de la interfase gráfica. Para que el usuario pueda conocer en todo momento parámetros relevantes como la temperatura de los detectores, el estado de las válvulas o el tiempo en el que se inicia un nuevo llenado, y pueda intervenir de forma inmediata si el sistema no está funcionando correctamente, es necesario que la información se presente en modo claro y preciso y que las acciones que se deben realizar sean simples e intuitivas, aunque internamente conlleven cálculos y operaciones de gran complejidad. El Macintosh y el sistema HyperCard se eligieron como los instrumentos más adecuados para crear dicha interfase, por las características del sistema operativo Macintosh, sus numerosas aplicaciones, la facilidad con que el usuario ejecuta las acciones (normalmente a través de "clicks" del ratón sobre distintos objetos), el precio asequible y el poco tiempo requerido para familiarizarse con el sistema.

El Programa de Control que hemos implementado para que el sistema opere en modo autónomo, aunque permitiendo las intervenciones del usuario desde la interfase gráfica, se define por tanto como un sistema con cinco estados (ver figura 3.14):

Estado 0: Estado nulo (*Idle*). Controla la ejecución de los distintos procesos en función de la prioridad asignada y actualiza las variables de estado del sistema.

Estado 1: *Monitor*. Lee los parámetros de control (temperaturas) y los convierte en el formato adecuado para que posteriormente sean salvados o presentados al usuario.

Estado 2: *Fill*. Por una parte, lee y convierte los datos de control y, por otra, realiza el llenado con LN₂ de los detectores en operación.

Estado 3: *Log*. Salva los valores de temperatura.

Estado 4: *Graphical User Interface*. Responde a los comandos introducidos por el usuario a través de la interfase gráfica.

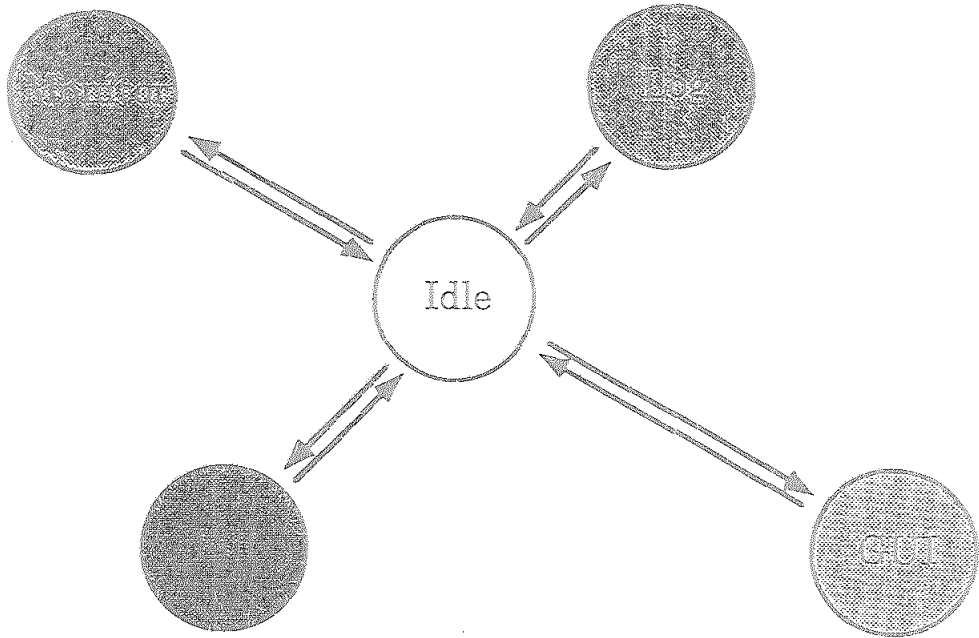


Figura 3.14: Diagrama de estado para el control del sistema de enfriamiento de los detectores HPGe de GASP.

3.5.3 Programación del Sistema de Adquisición y Control de Datos HP 3852A

La programación del Sistema de Adquisición y Control se realiza a través de un conjunto de subrutinas escritas con la sintaxis del lenguaje BASIC, las cuales son cargadas en la memoria interna del sistema desde el Macintosh para que puedan ser llamadas en cualquier momento posterior. Dichas subrutinas contienen los comandos que ejecutan las distintas acciones. Un comando está formado generalmente por una palabra inicial (*header*), los parámetros asociados y, en caso necesario, el lugar de destino de los datos: variables o vectores previamente declarados en la memoria del sistema o bien el formato con el que dichos datos son enviados directamente al Macintosh a través de la interfase GPIB.

Para que la unidad HP 3852A pueda realizar las medidas de temperatura y controlar el flujo del LN₂ periódicamente y sin la intervención del usuario es necesario habilitar el modo de operación *Multitasking* y programar el sistema con un comando de iniciación automática ("AUTOST IS"), de forma que, al encenderse o bien después de recibir un comando de "RESET HARD", subrutinas previamente escritas en un fichero y almacenadas en un *diskette* sean leídas por la unidad HP 9153C y cargadas en la memoria del sistema, el cual las ejecuta una vez creados los procesos o *tasks* del modo *Multitasking* mediante los siguientes comandos:

```
create run 0 80
```

```
create run 1 100
```

```
run 0 mLN2 every 4
```

```
run 1 logGeT every 900
```

donde las dos primeras líneas definen los procesos de control, con las prioridades 80 y 100 respectivamente (ver en la figura 3.12 la escala de prioridades); la línea 3 asigna al primer proceso la subrutina mLN₂, estableciendo el ciclo de ejecución

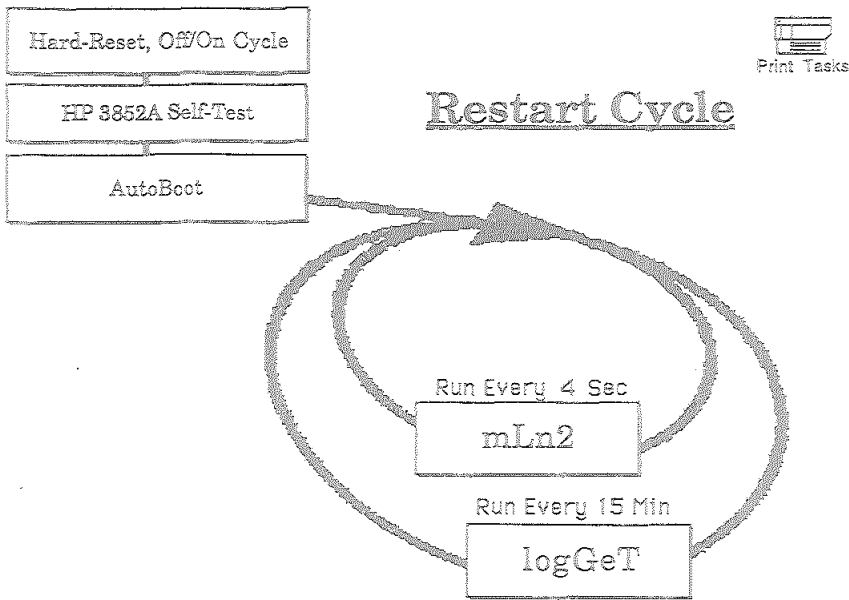


Figura 3.15: Procesos realizados para el control automático de las temperaturas y del sistema LN₂.

cada 4 segundos; y la línea 4 asigna al segundo la subrutina logGeT, la cual salva los valores de temperatura en un fichero de la unidad de disco HP 9153C cada 15 minutos. Estas operaciones se representan esquemáticamente en la figura 3.15.

La subrutina mLN₂ es la subrutina principal del sistema. A través de ella se implementan los estados *Monitor* y *Fill* del Programa de Control, llamando a su vez las siguientes subrutinas:

- rdAIJ: lee los canales de los dos módulos multiplexer HP 44706A y los de los módulos digitales de control HP 44723A. Los datos obtenidos se asignan a variables o vectores dentro de la memoria del sistema.

- mapIt: corrige y convierte los valores de resistencia obtenidos con la lectura de los módulos multiplexer HP 44706A en los correspondientes valores de temperatura. Así, en el caso de los detectores HPGe el parámetro físico que se mide es la resistencia a lo largo de todo el recorrido de la señal (gTR), la cual incluye la resistencia de

platino del detector (gR), su resistencia interna (gIR) cuyo valor viene dado por el fabricante y la resistencia del cable coaxial (gLR) que conecta el detector con el módulo multiplexer. Esquemáticamente, la corrección y conversión de dicho valor de resistencia se lleva a cabo a través de las siguientes operaciones:

$$gR = gTR - gIR - gLR$$

compen RTD85 gR into gT

$$gT = gT + 273.15$$

donde compen es una función de conversión de la unidad HP 3852A. La temperatura del nitrógeno para el control del flujo se mide en modo análogo.

- fill: si es tiempo de llenar los detectores, esta subrutina ejecuta el proceso de llenado siguiendo la lógica de niveles que se muestra en la figura 3.16. En ella se distinguen tres fases de operación:

- 1) Eliminar el gas en las tuberías (Nivel 0).
- 2) Llenar los detectores (Niveles 1 a 5).
- 3) Inicializar el sistema para el siguiente proceso de llenado (Nivel 6).

La primera fase enfría las tuberías y las columnas de distribución a la temperatura del LN_2 . Las válvulas de escape en las tuberías y las cuatro de repuesto en las columnas se abren para dejar salir el gas acumulado cuando no circula nitrógeno líquido por ellas. Mientras están abiertas, las válvulas de escape son controladas periódicamente para comprobar que realmente existe flujo de gas a través suyo. En caso contrario, el proceso se interrumpe y se envía un mensaje de aviso al usuario. El ciclo se repite cada vez que el sistema activa la subrutina mLN_2 hasta que la temperatura de dichas válvulas es inferior a $90^\circ K$, lo cual indica que la línea está fría. En esta fase, las válvulas de repuesto de cada columna son abiertas y cerradas alternativamente dependiendo de la temperatura: abiertas si es mayor de $250^\circ K$ y cerradas si es menor de $80^\circ K$, asegurando así que las columnas han alcanzado la

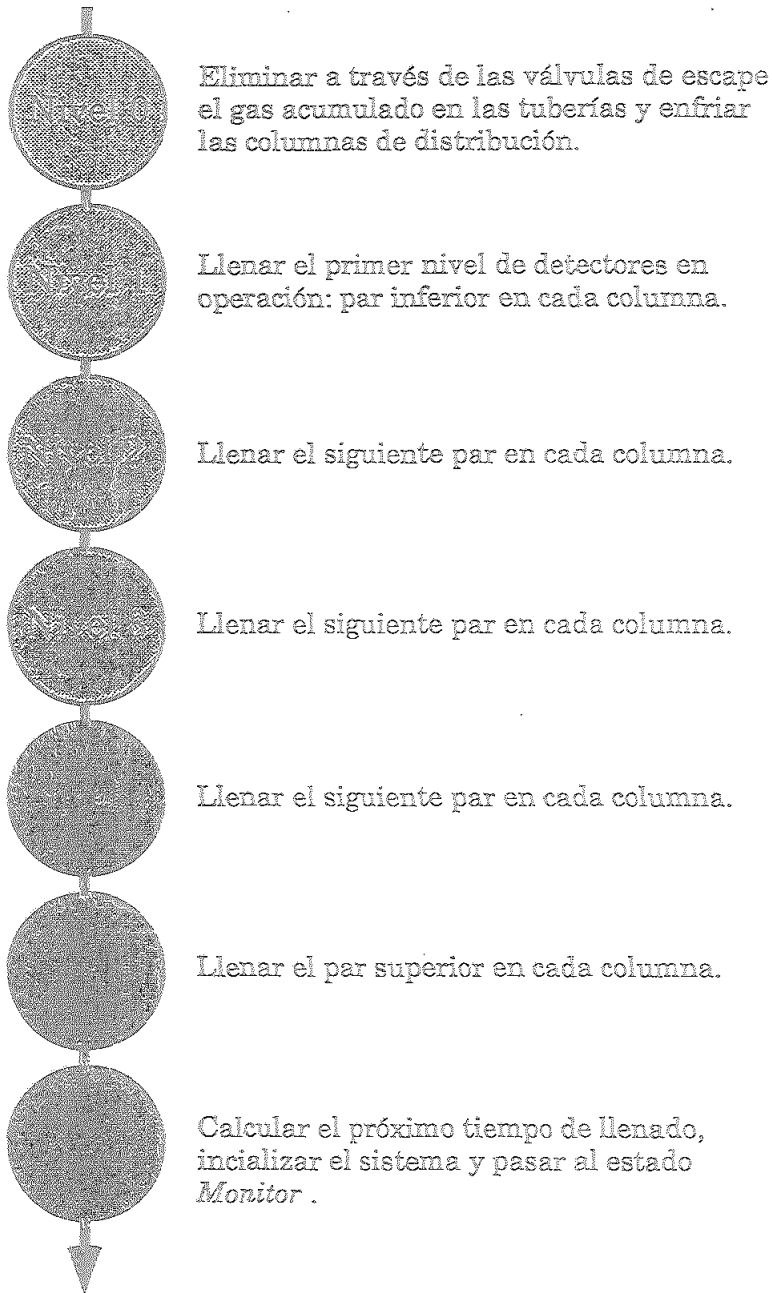


Figura 3.16: Estructura de niveles para el llenado de los detectores con LN_2 .

temperatura apropiada para el llenado.

La segunda fase se inicia cuando el sistema activa de nuevo la subrutina `mLN2`. En ella se bloquea la Adquisición de Datos y se abren sucesivamente las válvulas de los detectores en operación, comenzando por las dos inferiores de cada columna (Nivel 1) hasta las dos superiores (Nivel 5). Cada vez que se pasa a un nuevo nivel y se abren las válvulas correspondientes, se verifica a través de los sensores de flujo que los detectores se están llenando realmente con nitrógeno líquido. En el caso de que un sensor no detecte la presencia de nitrógeno o de que se supere el tiempo máximo en el que debe realizarse el llenado, la válvula se cierra automáticamente y el hecho se notifica al usuario. Periódicamente se controla asimismo la temperatura del dispositivo de control de cada válvula hasta que se llega a un valor inferior a 80°K, temperatura a la que se considera que el detector ha completado su llenado. Durante el proceso, las válvulas de escape se abren y cierran cíclicamente dependiendo de la temperatura que alcanzan: abiertas si es mayor de 200°K y cerradas si es menor de 90°K. De este modo, las líneas se mantienen frías hasta que se completa el llenado de todos los detectores con tensión.

En la última fase, se cierran definitivamente las válvulas de escape, se inicializan las variables que controlan la ejecución del proceso y se calcula el tiempo del próximo llenado. El Sistema de Adquisición de Datos de GASP deja de recibir entonces la señal que vetaba la adquisición.

- `writeS`: registra el número de veces que los detectores han sido llenados con LN₂ mientras el espectrómetro está en operación y el tiempo del próximo llenado en un fichero de la unidad de disco HP 9153C.

- `upDate`: actualiza la información de estado que se presenta al usuario en el `stack` "HP 3852A ACQ" de HyperCard.

El segundo proceso (*Task 1*) definido en el modo *Multitasking* implementa el estado *Log* del Programa de Control a través de la subrutina `logGet`, la cual con-

tiene como única instrucción el comando que salva en la unidad HP 9153C (fichero "logGT"), en el tiempo "sTime", el vector "gT(*)" con los valores de temperatura de los detectores.

```
sub logGeT
  output @logGT sTime,gT(*)
subEnd
```

3.5.4 Control del sistema LN₂ desde HyperCard

El control del sistema LN₂ desde HyperCard (*stack* "HP 3852A ACQ") se efectúa fundamentalmente a través de tres tipos de operaciones:

- 1- Control y recuperación automática del estado del sistema.
- 2- Acciones que el usuario puede realizar a través de la interfase gráfica.
- 3- Programación de la unidad HP 3852A.

La primera es posible gracias al mensaje de sistema "idle" de HyperCard [Go90], el cual permite programar acciones que son ejecutadas sin necesidad de la intervención directa del usuario. En el *stack* "HP 3854A ACQ" la función escrita es:

```
on idle
  global oldSeconds
  put the seconds into theSeconds
  if theSeconds > oldSeconds+900 then
    put theSeconds into oldSeconds
    getLn2State
    put theSeconds into oldSeconds
  hide msg
end if
end idle
```

Cuando HyperCard recibe el mensaje "idle" y si se satisface la condición en la cláusula IF (que hayan transcurrido 15 minutos), se ejecuta la función getLn2State. Las operaciones que se realizan entonces son:

- Actualización de las variables de estado del sistema (tiempo transcurrido desde el último llenado, tiempo que falta para el próximo, estado del proceso de llenado, número de válvulas abiertas, variables con los posibles mensajes de aviso al usuario, etc.).

- Verificación de que cada uno de los procesos o *tasks* se está ejecutando correctamente. En caso contrario, se envía un comando de RESET mediante el que se vuelven a cargar las subrutinas en la memoria interna del sistema y se inicializan cada uno de los procesos. De este modo se asegura el funcionamiento continuo y autónomo del sistema.

- Lectura de las variables que contienen los valores de temperatura y control de los posibles aumentos en dichos valores. Si la temperatura de algún detector aumenta por encima de 10 grados respecto a su valor mínimo, se fuerza un nuevo llenado.

- Creación de un fichero en el Macintosh donde diariamente se salvan las temperaturas de los detectores en operación.

La función `getLn2State` pertenece por tanto al grupo de funciones que permite que el sistema de control de las temperaturas ejecute las subrutinas y garantice el enfriamiento de los detectores sin necesidad de la intervención directa del usuario.

En la figura 3.17 se representan las tarjetas del *stack* "HP 3852A ACQ" a través de las que el usuario controla el estado del sistema LN₂. En condiciones normales de operación, la única acción que éste debe realizar, cuando sea necesario, es modificar la lista de los detectores que tienen que ser enfriados. Esta lista se encuentra en la Base de Datos del sistema, tal y como se observa en la figura. Operaciones excepcionales son:

- Abrir/Cerrar las válvulas de escape del gas para el enfriamiento de las líneas y las válvulas de los detectores, en caso de que alguno de ellos no se haya enfriado correctamente.

Figura 3.17: Tarjetas del stack "HP 3852A ACQ" a través de las que el usuario interviene en el control del sistema LN₂.

LN₂ GPIB Control

Date and Time
10/17/92 at 0:28

Main Menu Last CalFactory Dump on: 10/16/92

Ln2	Yesh O Delay 4	Param.	P. Value	CMD
check Ln2_Task	get_GoTemp_log	lStemp	0035	
reset Flags	get_Fil_Log	TieFil	0000	
Enable? ->>	get_Fil_Log	nPMinState	116, 3	
	get_Fil_Log	RevOpener	4, 3	
	get_Fil_Log	aState	0	
	get_Fil_Log	NASTOW	0	
	get_Fil_Log	NPFW 0/1	0, 0	
	get_Fil_Log	HPFTOW	0	
	get_Fil_Log	NPW	1	
	get_Fil_Log	HPFTOW	0	

StatusBoard

Pos	Min	Cur	AT (°K)
12	84	85	1
15	0	0	0
14	0	0	0
15	185	189	4
15	78	83	5
17	78	81	2

Enable Manual Value Control

Date and Time
10/17/92 at 0:26

Main Menu

Column 1	Column 2	Column 3	Column 4
01	02	03	04
05	06	07	08
09	10	11	12
13	14	15	16
17	18	19	20
21	22	23	24
25	26	27	28
29	30	31	32
33	34	35	36
37	38	39	40
41	42	43	44
45	46	47	48
49	50	51	52
53	54	55	56
57	58	59	60
61	62	63	64
65	66	67	68
69	70	71	72
73	74	75	76
77	78	79	80
81	82	83	84
85	86	87	88
89	90	91	92
93	94	95	96
97	98	99	00

Get Parjs Get Column Disable Value Control

Column 1	Column 2	Column 3	Column 4	Write Head
01	02	03	04	05
06	07	08	09	10
11	12	13	14	15
16	17	18	19	20
21	22	23	24	25
26	27	28	29	30
31	32	33	34	35
36	37	38	39	40
41	42	43	44	45
46	47	48	49	50
51	52	53	54	55
56	57	58	59	60
61	62	63	64	65
66	67	68	69	70
71	72	73	74	75
76	77	78	79	80
81	82	83	84	85
86	87	88	89	90
91	92	93	94	95
96	97	98	99	00

Go Monitor OFF Value Monitor OFF

LN₂ DataBase

Date and Time
10/17/92 at 0:20

Main Menu

DoNameList	Pos 1	Present	HPGe 26	3.0
GoHp Det R	Pos 2	Present	HPGe 34	3.0
GoHp Line R	Pos 3	Present	HPGe 24	3
FBox Line R	Pos 4	Present	HPGe 6	1, 3
GoHp Act List	Pos 5	Present	HPGe 33	3
	Pos 6	Present	HPGe 11	3
	Pos 7	Present	HPGe 18	3
	Pos 8	Present	HPGe 32	3
	Pos 9	Present	HPGe 20	3
	Pos 10	Present	HPGe 28	3.0
	Pos 11	Present	HPGe 36	3
	Pos 12	Absent	HPGe 35	0
	Pos 13	Absent	none	0
	Pos 14	Present	none	0
	Pos 15	Present	HPGe 13	3.0
	Pos 16	Present	HPGe 16	3
	Pos 17	Present	HPGe 27	3.0

- Forzar un proceso de llenado antes del tiempo programado.
- Revisar el estado del sistema (temperaturas de los detectores, tiempo para el próximo llenado, etc.).
- Salvar en el Macintosh los valores de temperatura de los detectores o los valores de temperatura de las válvulas. Es posible entonces crear ficheros de historia con cualquiera de las aplicaciones del Macintosh (Microsoft Excel, Kaleidagraph,...) y construir gráficos con los datos en modo de poder controlar la evolución de las temperaturas, ya sea durante cada proceso de llenado o, en general, durante algún determinado período de operación de los detectores de Ge (ver figuras 3.18 y 3.19, respectivamente).

Finalmente, las subrutinas del Programa de Control pueden ser editadas y modificadas fácilmente desde el *stack* "HP 3852A ACQ" y cargadas en la memoria interna del sistema o en el *diskette* de la unidad HP 9153C de forma rápida y automática, lo cual no es posible desde el panel frontal de la unidad HP 3852A. La figura 3.20 muestra la tarjeta que permite la manipulación de dicho Programa de Control.

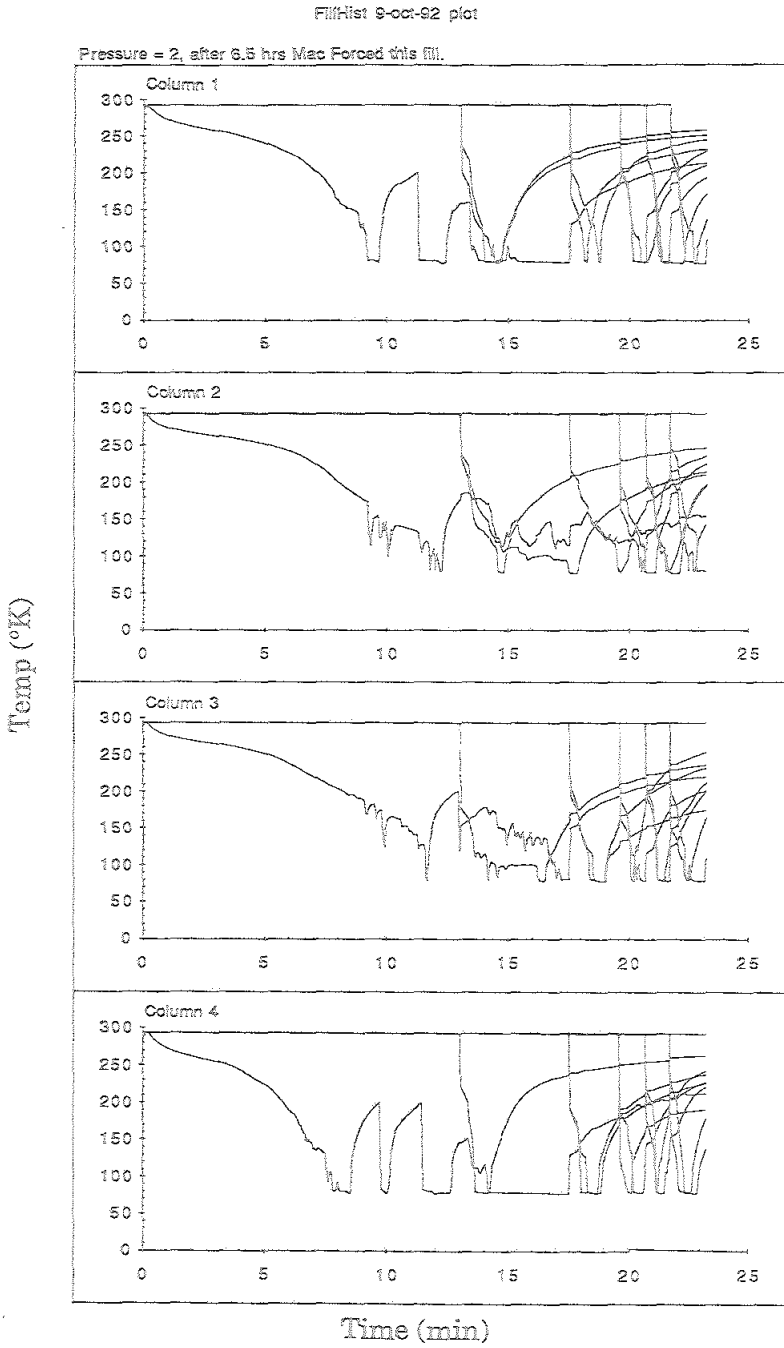


Figura 3.18: Evolución de las temperaturas de las válvulas durante un proceso de llenado.

GeHist 12/14-Sep-92 plot

GeHist summery for: 12,13,14-Sep-92

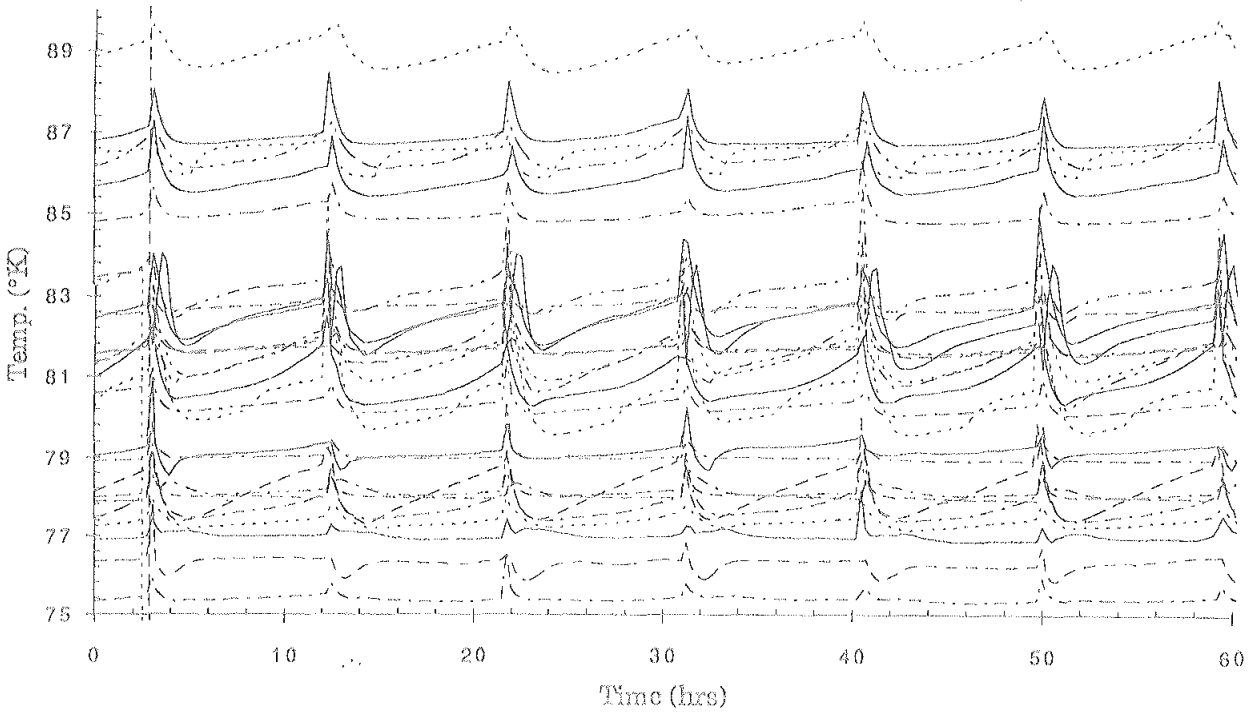


Figura 3.19: Evolución de las temperaturas de los detectores. Los picos indican la variación que tiene lugar con cada proceso de llenado.

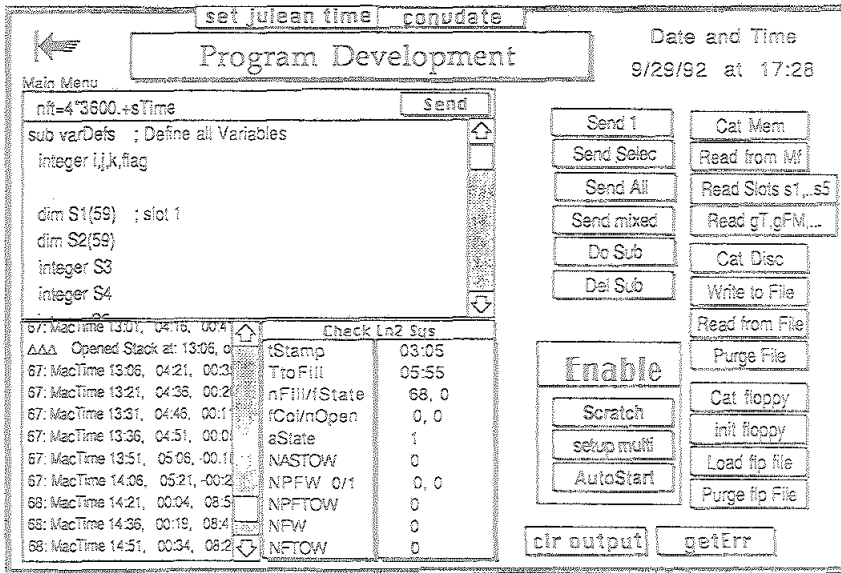


Figura 3.20: Tarjeta del *stack* "HP 3852A ACQ" a través de la que se accede al Programa de Control del sistema LN₂.

3.6 Gestión de los datos

En el diseño de una Base de Datos para la gestión de la información relativa a los parámetros que caracterizan los detectores y la electrónica de GASP se prefirió HyperCard sobre otras aplicaciones del Macintosh (ej. FileMaker) debido fundamentalmente a la posibilidad de introducir, memorizar y actualizar los datos en un modo automático, simple y transparente para el usuario. Al mismo tiempo, dado que los dispositivos del sistema de control se programan desde *stacks* de HyperCard, el intercambio de información es más rápido si los datos se memorizan dentro de HyperCard (localizados en distintos *campos*) que en cualquier otra aplicación.

Las figuras 3.21 y 3.22 muestran cómo hemos implementado la Base de Datos de los detectores de Germanio de GASP. Ambas se corresponden con los dos tipos de información que caracterizan cada detector y por tanto con dos *stacks* diferentes del sistema de control (*stack* "HPGe Store" y *stack* "GASP DeskTop", respectivamente).

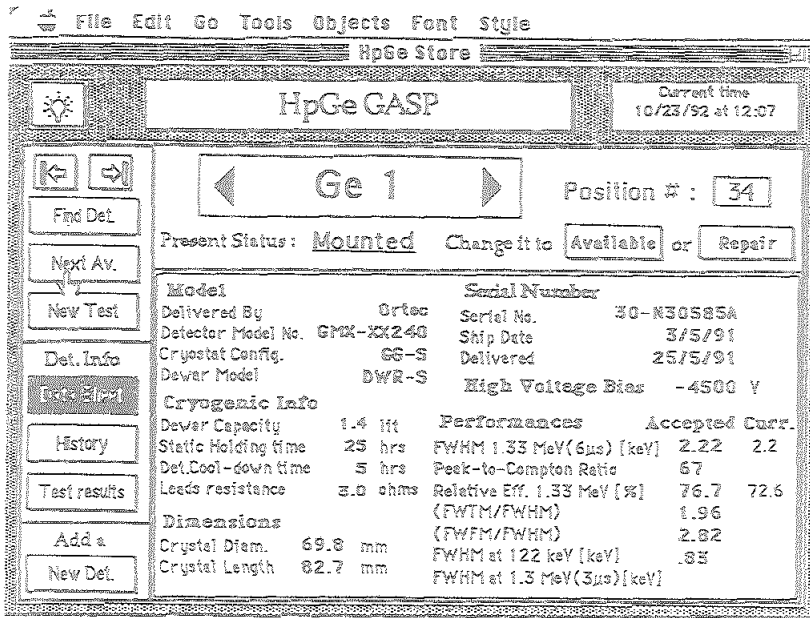


Figura 3.21: Diseño de una tarjeta del *stack* “HPGe Store” en el cual están contenidos los datos relevantes y la historia de los detectores de Germanio de GASP.

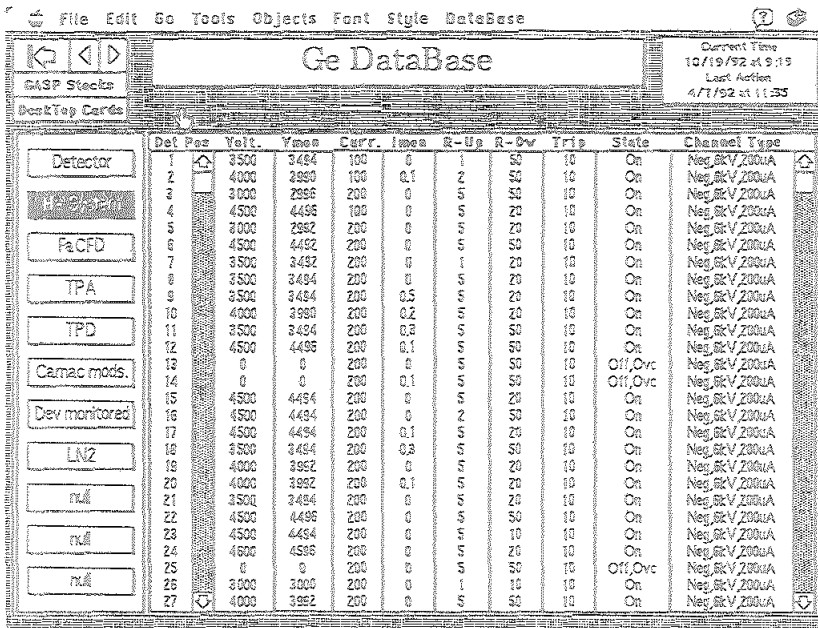


Figura 3.22: Tarjeta de Base de Datos del *stack* “GASP DeskTop” en la que se muestran los parámetros que configuran cada uno de los canales de alta tensión de los detectores HPGe en operación.

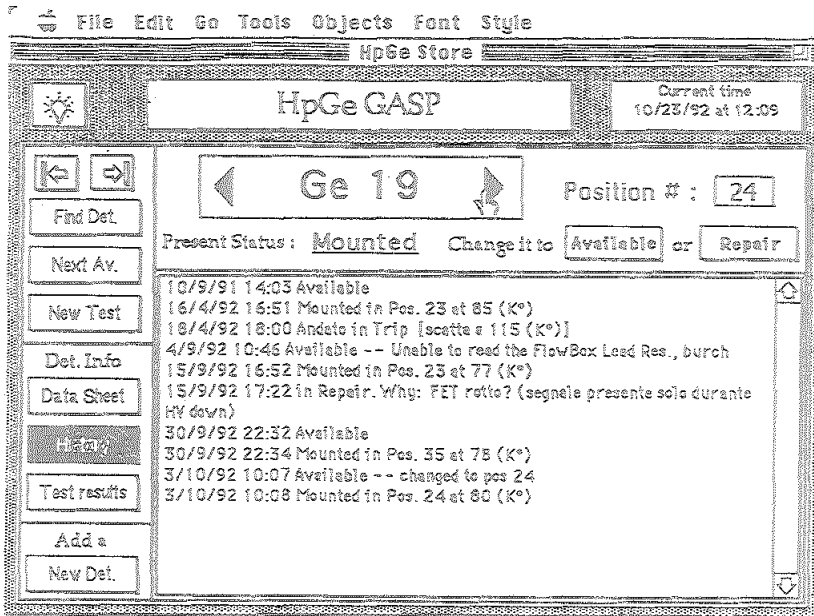


Figura 3.23: Tarjeta del stack "HPGe Store" con la historia de funcionamiento de uno de los detectores de Ge de GASP.

El primero contiene por una parte los parámetros generales de los detectores, según las especificaciones del fabricante: modelo, número de serie, dimensiones, tensión recomendada de operación, datos criogénicos y las prestaciones en cuanto a resolución y eficiencia. Desde este *stack* es posible también conocer y modificar el estado de cada detector (disponible para el uso, en funcionamiento o en reparación) e ir creando una historia de los mismos. Como ejemplo se muestra en la figura 3.23 el fichero de historia del detector Ge 19.

En el *stack* "GASP DeskTop" están contenidos en cambio los datos relevantes sobre la configuración de los detectores en funcionamiento, esto es, los parámetros relativos a la alta tensión, la electrónica CAMAC (discriminadores CFD y multiplexers) y las temperaturas de los detectores de Germanio, fundamentalmente. Los cambios que el usuario realice en el valor de dichos parámetros resultan salvados automáticamente en la tarjeta correspondiente de Base de Datos.

Capítulo 4

Primeros experimentos con GASP: prestaciones y resultados

La instalación de GASP comenzó a finales de 1991 y se completó en Marzo de 1992. Las primeras pruebas de funcionamiento del espectrómetro utilizando 28 sistemas Ge+Ac y la esfera interna de BGO se realizaron en Mayo de 1992, así como un primer test del acoplamiento entre GASP y el espectrómetro de masa RMS. Tales pruebas (ej. la realizada con la reacción $^{106}\text{Pd} + ^{32}\text{S}$ a 160 MeV, con una corriente de haz aproximada de 10 pA capaz de producir 10 kHz de eventos simples en los detectores de Germanio) mostraron que con GASP pueden registrarse eventos de coincidencia triple a un ritmo aproximado de 6 kHz. La actividad de investigación con GASP comenzó en Junio de 1992 con los siguientes experimentos: a) transferencia de dos protones entre estados a alto espín a energías cercanas a la barrera coulombiana; b) estudio del decaimiento de la banda superdeformada (SD) en el ^{135}Nd ; c) estudio de altos momentos angulares y búsqueda de bandas SD en el núcleo doblemente impar ^{134}Pr ; d) propiedades de los núcleos cercanos al ^{100}Sn ; y, e) búsqueda del decaimiento de la banda SD en el ^{148}Eu .

A través de estas primeras medidas fue posible valorar la utilidad del sistema de control presentado en esta tesis, así como su capacidad para agilizar las operaciones de puesta a punto del aparato y asegurar el buen funcionamiento del mismo. Como veremos en este capítulo, el sistema implementado ha demostrado ser fiable, especialmente en el control del enfriamiento de los detectores de Germanio, y ha permitido el rendimiento pleno del espectrómetro en el tiempo de haz disponible para la realización de los experimentos. Finalmente y con el propósito de completar este trabajo de tesis, incluiremos también los resultados obtenidos en el estudio de los estados SD en el ^{133}Nd , experimento realizado por el grupo de Legnaro y en el cual participé. Dichos resultados muestran la importancia dentro de la comunidad científica internacional de poder contar con un instrumento de medida como GASP mediante el cual llevar a cabo estudios fundamentales sobre la estructura de los núcleos a alto momento angular y lejos del valle de estabilidad.

4.1 Funcionamiento del sistema de control

Durante los experimentos que hasta el momento se han realizado con GASP, las operaciones de puesta a punto y control del aparato se han llevado a cabo desde el *stack* "GASP DeskTop" el cual, como dijimos en el capítulo 2, constituye la interfase principal del sistema con el usuario. En esta fase inicial de experimentación, el control de las temperaturas de los detectores de Germanio y el llenado de los mismos con LN_2 se ha realizado separadamente del resto de los dispositivos (ver el esquema general del sistema en la figura 2.1), dada la importancia de asegurar en todo momento el buen funcionamiento del Programa de Control y facilitar la optimización del mismo, incluso durante tiempo de haz.

La preparación del espectrómetro desde el *DeskTop* se lleva a cabo a través de la siguiente secuencia de operaciones:

- Seleccionar e inicializar los dispositivos que se pondrán en funcionamiento para

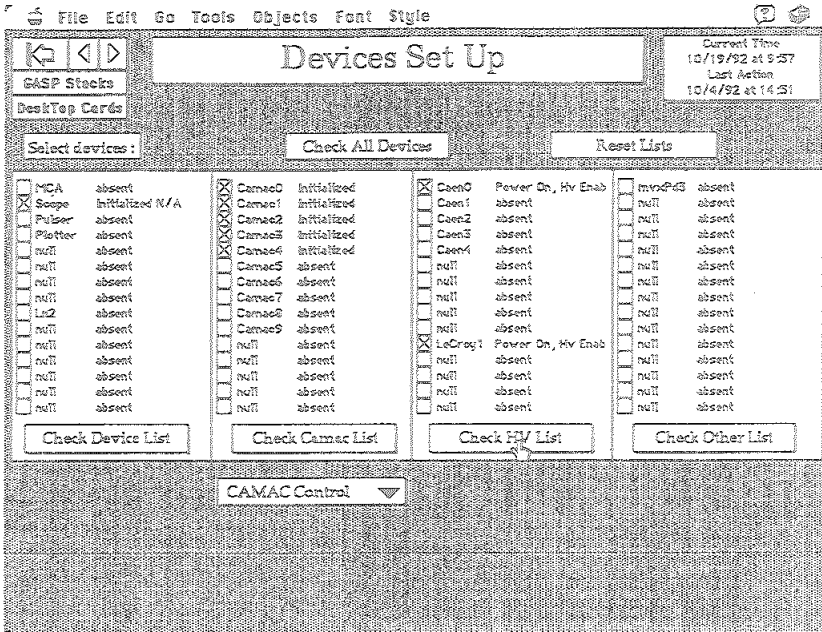


Figura 4.1: Selección e inicialización de los dispositivos.

el experimento (ver la tarjeta “Devices Set Up” representada en la figura 4.1). En general, éstos son: el osciloscopio, las distintas unidades CAMAC y las fuentes de alta tensión (“Caen0” y “LeCroy1”).

- Verificar la presencia de los módulos electrónicos en las unidades CAMAC (tarjeta “CAMAC Modules”, figura 4.2). Este control resultó particularmente útil en el caso de los multiplexers analógicos, algunos de los cuales presentaron problemas por una conexión defectuosa con el bus del CAMAC. Las operaciones de instalación y extracción de los módulos se realizan también desde esta tarjeta y la Base de Datos queda modificada en consecuencia.

- Si es necesario montar o desmontar algún detector de Germanio, se selecciona la tarjeta “Ge GASP” (fig. 4.3) para que dicha operación quede registrada en la Base de Datos. La función “Mount Detector” (o “Dismount Detector”) abre el *stack* “HPGe Store” para que el usuario cambie el estado del detector (“Mounted”,

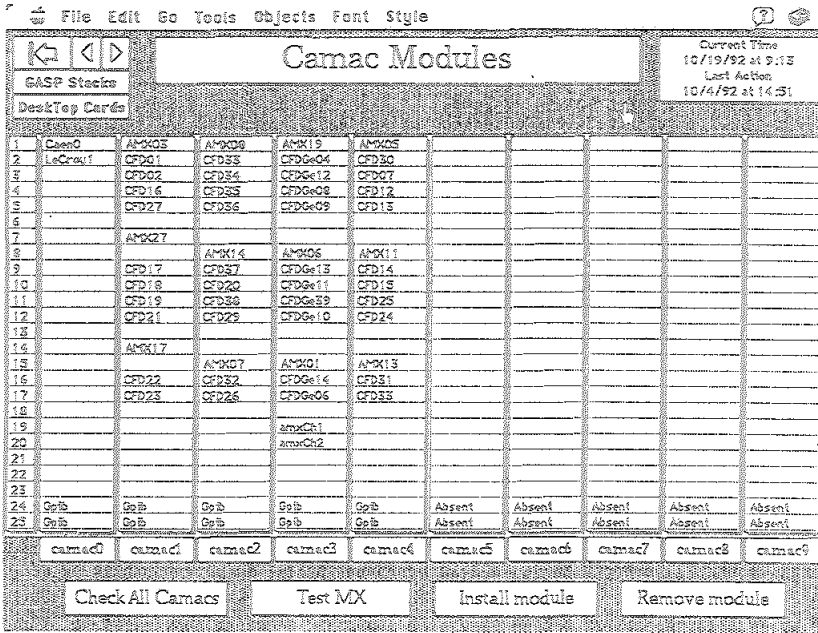


Figura 4.2: Módulos instalados en las unidades CAMAC.

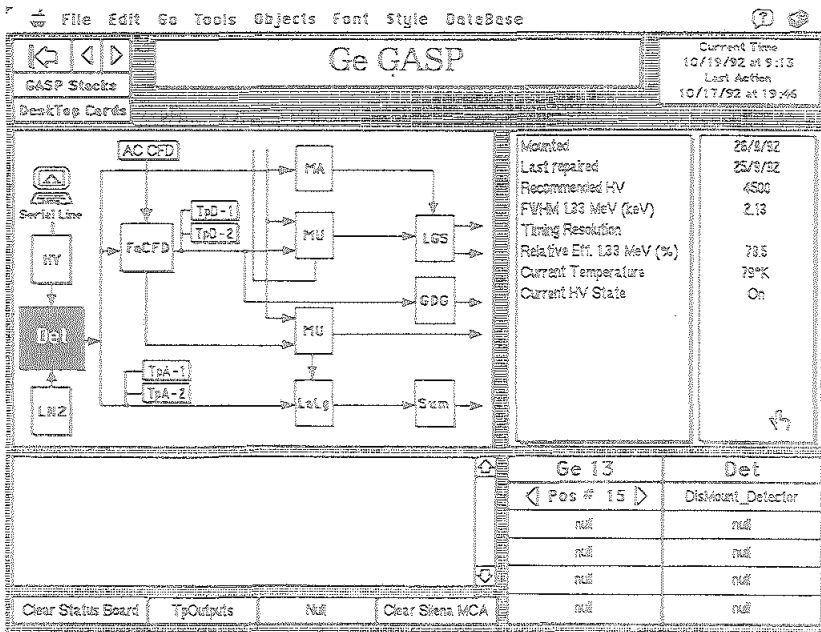


Figura 4.3: Tarjeta que muestra parámetros generales del detector de Ge seleccionado y desde la que se cambia el estado de funcionamiento del mismo.

“Available” o “Repair”) y, opcionalmente, escriba el motivo de dicho cambio en el fichero de historia del detector.

- Dar tensión a los tubos fotomultiplicadores del filtro y de los Anticompton. Un único comando de “HV_ON”, enviado indistintamente desde la tarjeta “AC_HV” o “BGO_HV” (fig.3.6), es suficiente para encender todos los canales del sistema LeCroy al valor de tensión que previamente haya sido programado.

- Dar tensión a los detectores de Germanio. Como ya se explicó en el capítulo anterior, el usuario puede elegir entre dar tensión al detector con la función que aplica la tensión programada en distintas fases y controlando automáticamente las descargas con el osciloscopio, o bien sin protección, dejando que el detector alcance el valor de tensión al ritmo programado en el parámetro de “Ramp Up”. Si los detectores ya estaban en operación y simplemente hay que volver a encenderlos a causa de algún fallo en la alimentación eléctrica, el procedimiento que se sigue es: programar un valor bajo de “Ramp Up” (entre 2 y 5 v/s), activar el botón de *Test Point* (“TpA”) para controlar la señal del preamplificador en el osciloscopio, introducir el valor deseado de alta tensión, mandar el comando “HV ON”, pasar al siguiente detector y repetir las operaciones anteriores. Se puede así dar tensión a más de un detector, inspeccionando las distintas señales a medida que aumenta el valor de la alta tensión. El tiempo empleado en dar tensión a todos los detectores en operación (hasta el momento el máximo ha sido 37 detectores) es inferior a dos horas.

- Regular los niveles de discriminación en los CFD y normalizar en duración y retraso las señales de tiempo de los detectores. Estas operaciones se realizan desde las tarjetas “Ge_CFD”, “AC_CFD” y “BGO_CFD” (ver como ejemplo la figura 3.8 en el capítulo anterior). A medida que se introducen los distintos parámetros, éstos quedan salvados automáticamente en la Base de Datos (fig. 4.4). Ello es importante pues los registros de los CFD se borran si se envía una instrucción de “Clear” a los

Det Pos	Cfd Num	Channel	Threshold	Output Mask	Delay	Width
1	CFD30	0	10	00011111	21	255
2	CFD30	1	5	00011111	11	255
3	CFD30	2	9	00011111	41	255
4	CFD30	3	8	00011111	1	255
5	CFD07	0	10	00011111	1	255
6	CFD07	1	12	00011111	10	255
7	CFD07	2	11	00011111	10	255
8	CFD07	3	15	00011111	10	255
9	CFD12	0	12	00011111	5	255
10	CFD12	1	10	00011111	10	255
11	CFD12	2	11	00011111	10	255
12	CFD12	3	5	00011111	1	255
13	CFD12	0	255	00011110	10	255
14	CFD13	1	255	00011111	10	255
15	CFD13	2	5	00011111	1	255
16	CFD13	3	5	00011111	1	255
17	CFD14	0	17	00011111	1	255
18	CFD14	1	14	00011111	1	255
19	CFD14	2	10	00011111	1	255
20	CFD14	3	14	00011111	1	255
21	CFD15	0	16	00011111	1	255
22	CFD15	1	7	00011111	1	255
23	CFD15	2	10	00011111	1	255
24	CFD15	3	5	00011111	1	255
25	CFD25	0	10	00011110	10	255
26	CFD25	1	10	00011111	10	255
27	CFD25	2	10	00011111	1	255

Figura 4.4: Configuración de los discriminadores de los Anticompton salvada en la Base de Datos.

Create Controllers o si se apaga la unidad CAMAC (intencionadamente o por corte accidental de la energía eléctrica). En este caso, los CFDs pueden programarse de nuevo con la configuración de la Base de Datos enviando un comando de "Load DataBase", operación que se realiza en menos de 1 minuto por unidad CAMAC.

La utilización del *stack* "GASP DeskTop" como sistema automático desde el que introducir y actualizar los distintos parámetros que configuran el espectrómetro presenta las ventajas propias de los sistemas automáticos frente a las operaciones manuales: comodidad, seguridad, eficiencia, precisión y rapidez. Gracias a su interfase gráfica, el sistema resulta además intuitivo y simple para el usuario. La consecuencia importante de todo ello, dada la competitividad de los grupos de investigación para poder realizar experimentos con GASP en el tiempo disponible de haz, es sin duda la reducción del tiempo necesario para la puesta a punto del aparato. En este sentido, el sistema será optimizado con funciones de más alto nivel

que permitan automatizar completamente operaciones repetitivas como la normalización de la ganancia en los tubos fotomultiplicadores y la regulación de los niveles de discriminación en los CFDs.

Entre las prestaciones del sistema de control hay que destacar asimismo el papel desempeñado por la Base de Datos. El tener memorizada la información relativa a cada detector permite conocer en cualquier momento los valores de los distintos parámetros característicos, actualizarlos mediante las funciones de "Update" implementadas y, en caso de que algún detector presente un comportamiento anómalo, identificar en modo rápido la causa del problema. El poder disponer de una Base de Datos con la configuración de cada experimento permite además que el usuario pueda cargar los distintos parámetros (especialmente las tensiones de los fotomultiplicadores y/o los niveles de discriminación en los CFDs) en cualquier momento posterior y realizar una nueva medida en las condiciones anteriores.

Operaciones críticas como la aplicación de la alta tensión a los detectores de Germanio son realizadas mediante funciones que incluyen distintos controles para impedir que al detector se le dé una tensión superior a la especificada como "Tensión Máxima de Operación" o poder aumentar la tensión controlando las descargas que se producen en el preamplificador.

En relación con el sistema para el control automático de los procesos de llenado con LN_2 , la característica que hay que resaltar es su fiabilidad. Los sistemas precedentes no garantizaban que realmente el depósito de cada detector se hubiera llenado con el nitrógeno líquido y era necesaria siempre la presencia de alguna persona para controlar si el sistema había funcionado correctamente. En cualquier caso, se desconocían los valores de temperatura de los detectores. El sistema de control que hemos desarrollado ha asegurado en cambio, desde que GASP entró en funcionamiento, el enfriamiento de los detectores de Germanio en operación y ninguno de ellos ha tenido que ser sustituido por daños debidos a aumentos inadvertidos

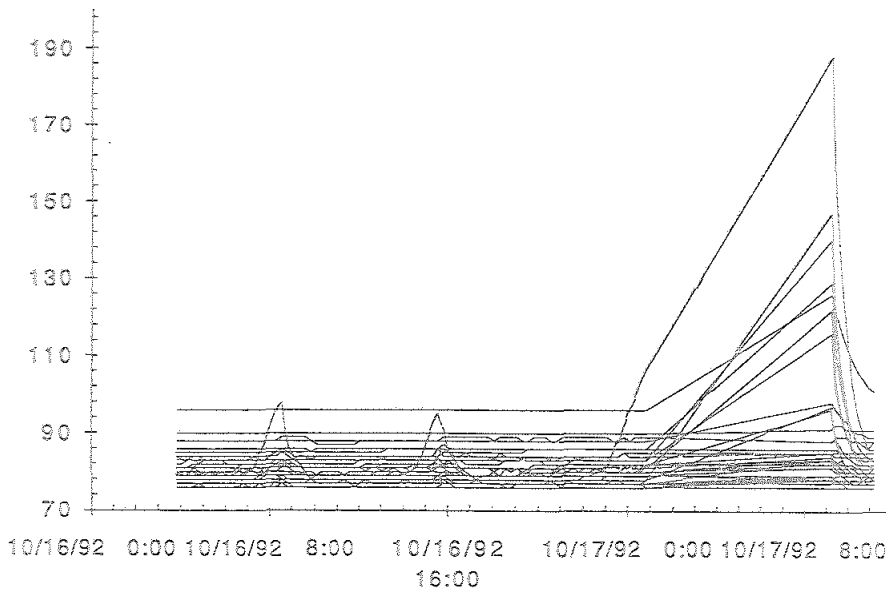


Figura 4.5: Calentamiento accidental producido en algunos detectores de Germanio durante un turno de medida.

de temperatura. El poder conocer las temperaturas de los detectores y seguir su evolución a través de los distintos gráficos ha permitido detectar aumentos anómalos de temperatura en algunos detectores (se muestra como ejemplo la figura 4.5) o mal funcionamiento en las válvulas.

El Programa de Control del sistema LN_2 se fue optimizando a medida que se analizaba el comportamiento del sistema en cuanto a tiempo empleado para realizar cada proceso de llenado y consumo de nitrógeno. El llenado más eficiente hasta el momento se ha conseguido definiendo distintos niveles en cada columna y abriendo las válvulas desde las más bajas hasta las situadas en el nivel superior. El tiempo que dura el llenado de los detectores es aproximadamente de 30 minutos, de los cuales 15 se emplean en enfriar las líneas de distribución y los otros 15 en llenar los depósitos de los detectores en operación. Con una presión media de 1.5 atmósferas,

el consumo aproximado de nitrógeno es de 200 litros diarios.

La autonomía de funcionamiento del sistema y su capacidad para autorecuperarse en caso de fallos en la alimentación eléctrica o problemas en la ejecución de los comandos han permitido el funcionamiento continuo de los detectores durante este primer período de experimentos con GASP, con un número mínimo de intervenciones por parte del usuario.

4.2 Primeros resultados con GASP: estudio del decaimiento de la banda SD en el ^{133}Nd

Una de las mayores dificultades para la caracterización de los fenómenos de superdeformación a alto momento angular se debe al desconocimiento de la energía de excitación y el espín de los estados superdeformados. En general es difícil definir el decaimiento de la banda SD, ya que éste tiene lugar a través de numerosas cascadas paralelas de baja intensidad, las cuales sólo pueden ser detectadas con instrumentos que, como GASP, cuenten con un alto poder resolutivo y eficiencia. El núcleo ^{133}Nd fue considerado como el mejor candidato para observar y estudiar el decaimiento de los estados SD, dado que la población de esta banda es una de las más intensas entre las bandas SD conocidas ($\approx 20\%$) [Wa87].

Los estados excitados en el ^{133}Nd fueron poblados mediante la reacción $^{105}\text{Pd}(^{32}\text{S}, 2p2n)^{133}\text{Nd}$ a una energía de 155 MeV. El blanco consistió en 2 láminas autoportantes de ^{106}Pd enriquecido al 94% con un espesor total de 1 mg/cm^2 . Para la adquisición de datos se requirió la coincidencia de al menos 3 detectores de Germanio con supresión Compton y 3 detectores del filtro de multiplicidad. El número de detectores de Germanio en operación fue de 31 y el ritmo de coincidencias triples entre 5 y 6 kHz. Para dar una idea de la calidad de los datos recogidos durante el experimento, la figura 4.6 muestra la proyección total de la matriz $\gamma\text{-}\gamma$ junto con los espectros resultantes del análisis con una, dos y tres ventanas sobre las transiciones

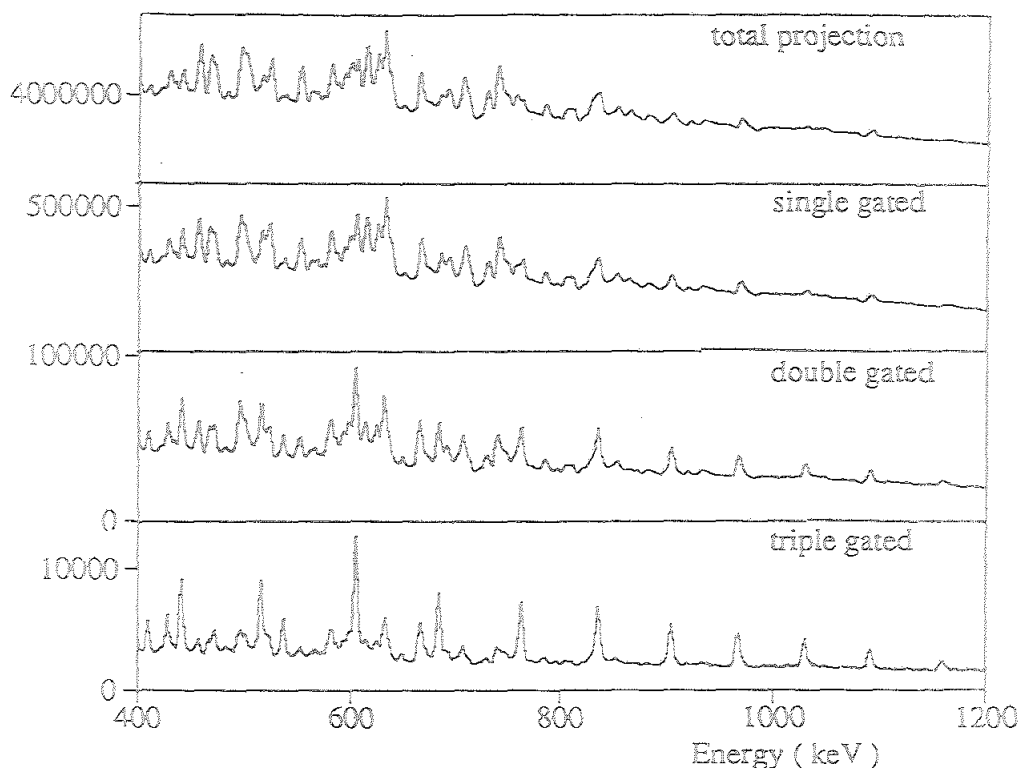


Figura 4.6: Espectros de coincidencia (sin supresión del fondo) de la reacción $^{105}\text{Pd} + ^{32}\text{S}$ a 155 MeV resultantes del análisis con una, dos y tres ventanas sobre transiciones de la banda SD del ^{133}Nd .

conocidas de la banda SD del ^{133}Nd . En dicha figura se observa claramente cómo mejora la relación pico-fondo con el incremento en el orden de coincidencia. El uso del filtro de multiplicidad contribuyó asimismo a la selección de los diferentes núcleos de interés producidos en la reacción. También se recogieron datos cambiando los blancos delgados por un blanco grueso de 1 mg/cm^2 de ^{105}Pd sobre 10 mg/cm^2 de Au con la misma reacción y energía.

La banda SD del ^{133}Nd fue observada hasta una energía de transición de 1631 keV, la cual tiene una intensidad del 0.7% de la población total del ^{133}Nd corres-

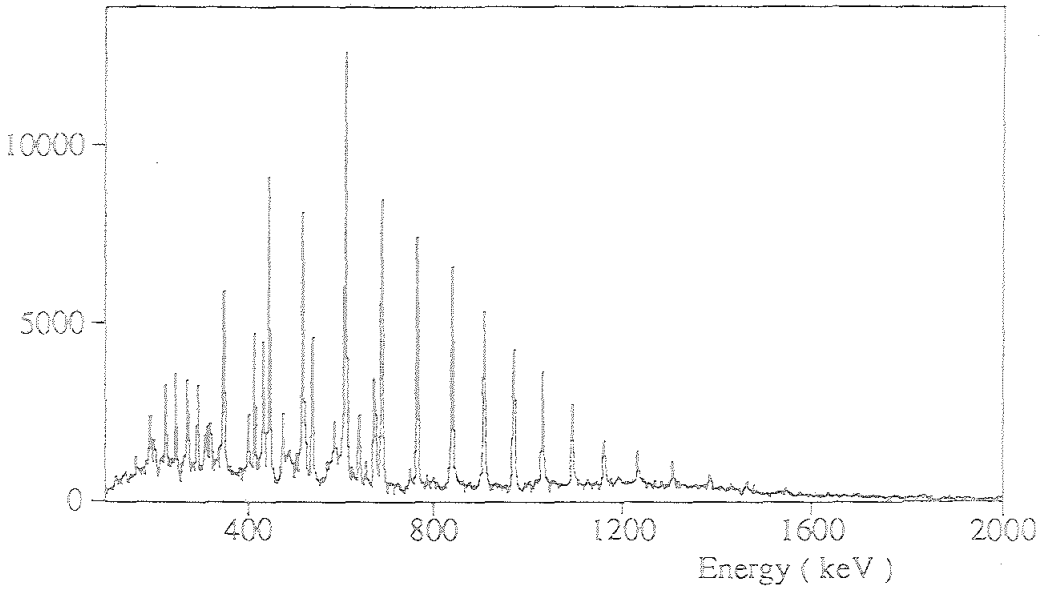


Figura 4.7: Espectro de coincidencias cuádruples con ventanas en las transiciones de la banda SD del ^{133}Nd .

pondiente a $2 \cdot 10^{-4}$ de la sección eficaz total de fusión de la reacción $^{105}\text{Pd} + ^{32}\text{S}$. Solamente se pudieron añadir tres niveles más respecto a lo que ya se conocía de la banda debido a que la población de los estados decrece muy rápidamente con el espín. La figura 4.7 muestra un espectro de coincidencias cuádruples con ventanas en las transiciones de la banda SD. Dada la alta selectividad de los datos cuádruples, las líneas que se observan en la región de energía entre 100 y 800 keV pueden ser asignadas con toda seguridad al decaimiento de la banda SD o a estados de baja energía del ^{133}Nd .

El análisis de los datos triples y cuádruples permitió construir el esquema de niveles parcial del ^{133}Nd que se muestra en la figura 4.8. En él aparecen todos los estados conocidos de la banda SD junto a las transiciones que conectan los estados SD con las dos bandas de paridad positiva *a* y *b* construidas sobre el estado $7/2^+$ y con

los estados de baja energía de la banda que decaen hasta el estado fundamental. La observación de estas transiciones hizo posible por primera vez conocer el decaimiento de una banda SD y establecer sin ambigüedad la posición relativa de la misma en un esquema de niveles.

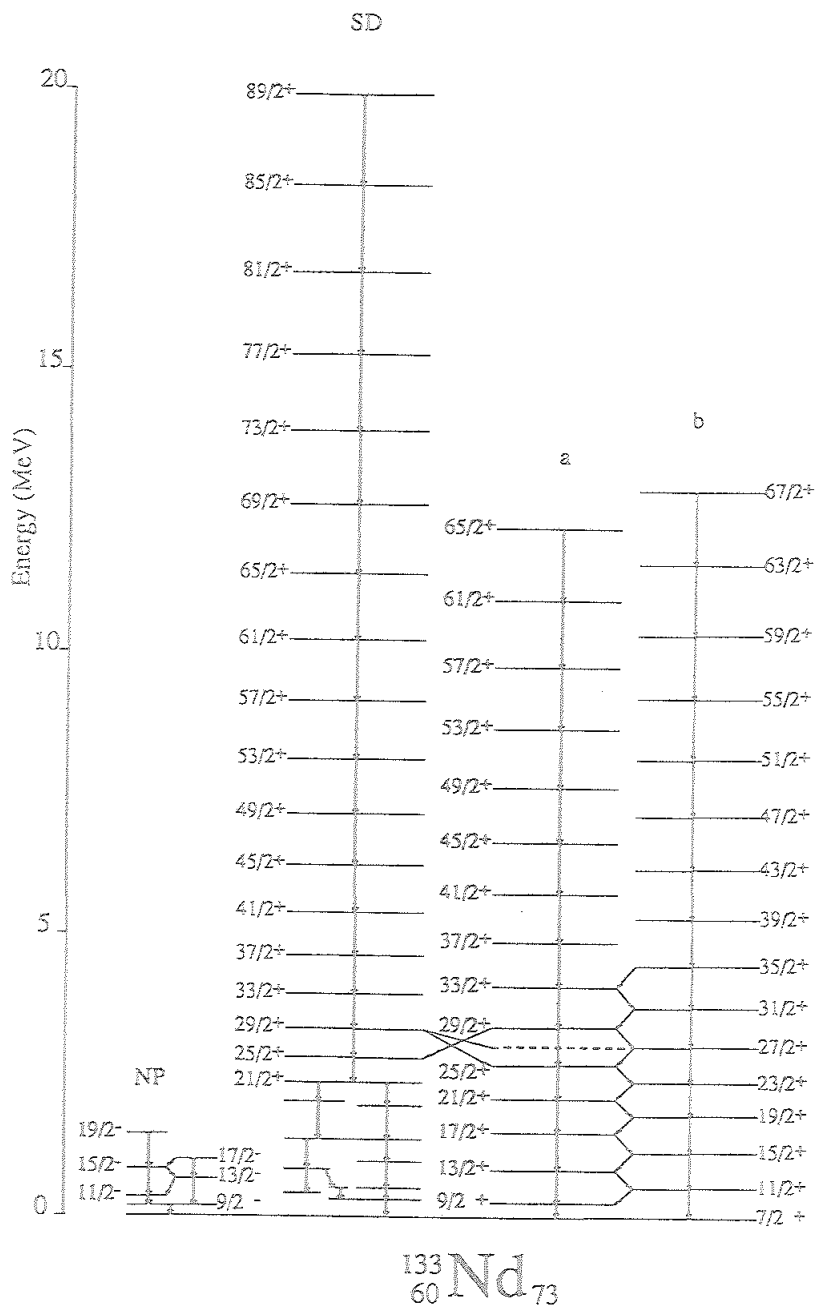


Figura 4.8: Esquema de niveles parcial del ^{133}Nd .

Resumen y conclusiones

En el mes de Marzo del presente año se completaron en los Laboratorios Nacionales de Legnaro (Italia) los trabajos para la construcción e instalación de un nuevo espectrómetro de radiación γ de alta resolución y eficiencia, denominado GASP. El espectrómetro está compuesto por 40 detectores de Germanio Hiperpuro (HPGe) rodeados por pantallas simétricas de BGO para la supresión del efecto Compton y un filtro de multiplicidad formado por 80 cristales de BGO que cubre un ángulo sólido muy próximo a 4π . Por sus características, GASP puede funcionar en combinación con otros sistemas de detección, tales como detectores de partículas cargadas y el espectrómetro de masa actualmente en operación en Legnaro.

La complejidad del sistema, dado el elevado número de detectores que lo componen, lleva a la necesidad de disponer de un sistema de control que permita agilizar las operaciones de puesta a punto del aparato y asegure el buen funcionamiento del mismo durante el desarrollo de los experimentos. Es dentro de este contexto donde se ha realizado el trabajo que se presenta en esta memoria y del que extraemos las siguientes conclusiones:

1. Se ha implementado un sistema de control automático para GASP, el cual es responsable de: 1) el sistema de llenado de los detectores de Germanio con nitrógeno líquido; 2) las altas tensiones de los detectores; 3) la regulación de los discriminadores CFD; 4) el control de las señales en puntos clave de la cadena electrónica; y 5) la generación y el mantenimiento de una Base de Datos con los parámetros relevantes y la historia de los detectores en funcionamiento. El control de los distintos dispositivos se lleva a cabo desde dos ordenadores Macintosh II. Estos se encuentran en una sala situada debajo del espectrómetro en la cual va instalada toda la electrónica rápida que sigue a los detectores.

2. Se ha desarrollado el software necesario para el control de GASP. Dicho software consiste en un conjunto de funciones escritas en el lenguaje HyperTalk y una interfase gráfica que permite al usuario configurar los dispositivos en modo simple e intuitivo.
3. Se ha diseñado un conjunto de *stacks*, conectados entre sí mediante comandos de HyperTalk, para la implementación de las distintas funciones que el sistema de control debe realizar. A través de ellos se programan y se accede a los dispositivos.
4. La programación de la mayor parte de los instrumentos del sistema de control se realiza a través de las interfases GPIB/CAMAC. Se ha modificado la función de lectura del driver NI-488 para que fuera posible la comunicación Macintosh (HyperCard) - GPIB - CAMAC. En relación con la conexión hardware entre los sistemas CAMAC y el Macintosh, se observó que una conexión válida dependía seriamente del número y el modo en que las unidades se conectaban a un mismo bus GPIB.
5. Se ha desarrollado un conjunto de funciones para programar y controlar las fuentes de alta tensión de los detectores de GASP (el sistema CAEN SY127 para los detectores de Germanio y el sistema LeCroy 1440 para los tubos fotomultiplicadores). Dichas funciones pueden agruparse cualitativamente en tres niveles diferentes de programación: 1) funciones básicas para la comunicación con la interfase CAMAC; 2) funciones para la aplicación de la alta tensión; y 3) funciones de interfase con el usuario. Esta interfase está constituida por los *stacks* "CAEN HV" y "LeCroy HV" y por las tarjetas correspondientes contenidas en el *stack* "GASP DeskTop".
6. Los módulos discriminadores CFD de la cadena electrónica de GASP pueden controlarse únicamente a través de ordenador. Se han implementado las fun-

ciones que permiten programar el umbral de discriminación, la anchura y el retraso del pulso lógico de salida y habilitar/deshabilitar las cuatro salidas posibles de cada canal. El usuario puede caracterizar cada módulo bien desde el *stack* "CFD" o bien desde el *stack* "GASP DeskTop".

7. Se ha desarrollado un conjunto de funciones para inspeccionar las señales de salida de los preamplificadores, los fotomultiplicadores y/o los discriminadores CFD. A través de ellas se programan los distintos módulos multiplexers. El usuario selecciona la señal deseada accionando simplemente el botón correspondiente de "Test Point" en la interfase gráfica.
8. Se ha implementado el software necesario para asegurar el enfriamiento de los detectores de Germanio durante el período (meses) en que éstos están en operación. Para ello se utiliza la unidad de Adquisición y Control de Datos HP 3852A como unidad responsable del control y un Macintosh II y el sistema HyperCard para la interfase gráfica con el usuario.
9. Se ha diseñado una Base de Datos en la que la configuración de los detectores y de la electrónica en funcionamiento durante un experimento están contenidas en tarjetas del *stack* "GASP DeskTop". Por otra parte, se ha creado el *stack* "HPGe Store" con los datos relevantes y la historia de todos los detectores de Germanio de GASP.

La actividad de investigación con GASP comenzó en Junio de 1992. Las medidas realizadas desde entonces han permitido valorar la utilidad, fiabilidad y accesibilidad para el usuario del sistema de control presentado en esta tesis. Dicha valoración se puede resumir del modo siguiente:

- i) La utilización del *stack* "GASP DeskTop" para la puesta a punto de los 160 detectores y la electrónica asociada ha supuesto una reducción considerable del tiempo muerto del aparato antes de la realización de algún experimento. Otras ventajas que

hacen accesible el aparato a pesar de su complejidad son el modo simple, eficiente y preciso en que se efectúan las operaciones y el tener la configuración del sistema salvada en la Base de Datos.

ii) El sistema que se ha implementado para el control automático de los procesos de llenado de los detectores con nitrógeno líquido ha demostrado ser fiable y autónomo, permitiendo así el funcionamiento continuo de los detectores durante este primer período de experimentos con GASP, con un número mínimo de intervenciones por parte del usuario.

Por último, mencionar que el sistema de control que se ha realizado será optimizado con funciones y procedimientos automáticos de más alto nivel para garantizar el rendimiento pleno del espectrómetro en los próximos 2-3 años en que GASP desarrollará su actividad más importante dentro de la comunidad científica internacional. La optimización de todos los parámetros relevantes del aparato es efectivamente condición necesaria para poder estudiar estructuras superdeformadas e hiperdeformadas y otros estados del núcleo atómico en condiciones extremas de excitación.

Bibliografia

- [Ap90] Apple "HyperCard Script Language Guide: The HyperTalk Language". Addison-Wesley Publishing Company, Inc. January, 1990
- [Av90] B.D'Avanzo et al. "The GA.SP Transputer based Data Acquisition System", LNL Ann.Rep. 1990, pp. 194-199
- [Ba90] D.Bazzacco. "Montecarlo simulations of the HPGe+AC system", LNL Ann.Rep. 1990, pp. 164-166
- [Baz90] D.Bazzacco et al. "GA.SP: The Electronics set-up", LNL Ann.Rep. 1990, pp. 184-186
- [BB92] D.Bazzacco and A.Buscemi. "Performances of the Compton Suppression Spectrometer of GA.SP", GA.SP Notizie n.8 - Marzo, 1992
- [Be92] F.A.Beck Prog.Part.Nucl.Phys. Vol.28,pp. 443-461, 1992
- [Bu92] A.Buscemi et al. "A Fast Amplifier and Constant Fraction Discriminator for GA.SP", GA.SP Notizie n.8 - Marzo, 1992
- [By90] T.Byrski et al., Phys.Rev.Lett.,64 (1990) 1650
- [CA] CAEN SY127 Camac Controller, Mod. C139. Technical Information Manual.
- [CA89] CAEN SY127 High Voltage System. User's manual. September 1989.

- [Ca92] L.Castellani. "Analog Multiplexer & Digital Multiplexer", GA.SP Notizie n.8 - Marzo, 1992
- [Co90] D.Colombo et al. "A multiprocessor based language for data processing in nuclear physics experiments", LNL Ann.Rep. 1990, pp. 207-210
- [DD88] M.A. Deleplanque and R.M. Diamond. "Gammasphere proposal", Lawrence Berkeley Laboratory. March, 1988
- [DS81] R.M. Diamond and F.S. Stephens. "The High Resolution Ball". Draft of the project, 1981.
- [Eb92] J.Eberth et al., Prog.Part.Nucl.Phys. Vol.28,pp. 495-504, 1992
- [ED81] "METODI DI INTERFACCIAMENTO: Interfacce Standard nei Sistemi Elettronici". Edelektron S.r.l., Milano, 1981
- [EG90] EG&G ORTEC Solid-State Photon Detector. Operators Manual. GMX Series, GAMMA-X HPGe Coaxial Photon Detector System. November, 1990.
- [EU90] "EUROGAM Proposal", ed. by EUROGAM Project Scientific Committee, Strasburg, 1990
- [EV89] H.Ejiri and M.J.A.de Voigt, "Gamma-Ray and Electron Spectroscopy in Nuclear Physics", Clarendon Press, Oxford, 1989
- [Fa90] C.Fanin et al., "The mechanical structure of the GASP array", LNL Ann.Rep. 1990, pp. 176-177
- [GA89] GASP-Draft of the project, 1989.
- [GL91] J.Gerl and R.M.Lieder, "Upgrading to EUROBALL, Technical Proposal with Emphasis on Composite Encapsulated Ge Detectors", Sept.,1991

- [Go90] Dany Goodman. "The complete HyperCard 2.0 Handbook", 3rd Edition. Bantam Books, USA. August, 1990.
- [Gr92] H.Grawe et al., Prog.Part.Nucl.Phys. Vol.28,pp. 281-291, 1992
- [He90] E.A. Henry et al., Zeit. Phys. A335 (1990) 361
- [Her85] B. Herskind, Nuc. Phys. A447(1985) 395c-412c.
- [HP87] HP 3852A Data Acquisition/Control Unit. Mainframe Configuration and Programming Manual. Hewlett-Packard Company. December, 1987.
- [Ki87] GPIB Crate Controller, Model 3988-G3A/D3A. Instruction Manual. KineticSystems Corporation. August, 1987.
- [Kn89] Glenn F. Knoll, "Radiation detection and measurement". Segunda ed. John Wiley&Sons, New York, 1989.
- [LC85] LeCroy 1440 High Voltage System. Operator's manual. July, 1985.
- [LC89] LeCroy High Voltage to Camac Interface, Mod. 2182. Operator's Manual. January, 1989.
- [LC90] LeCroy Models 9410/14/20/24/30/50, Dual- and Quad- Channel Digital Oscilloscopes. Remote Control Manual. December, 1990.
- [Li87] C.J. Lister et al., Phys. Rev. Lett. 59 (1987) 1270
- [Li89] R.M. Lieder, "Euroball. Design studies". Institut für Kernphysik, KFA. Jülich, 1989.
- [NI90] NI-488 Macintosh OS. Software Reference Manual. National Instruments Corporation. August, 1990.

- [Ro90] C.Rossi Alvarez. "Present status of the GA.SP project", LNL Ann.Rep. 1990, pp. 160-163
- [Ro92] C.Rossi Alvarez. "Status of the GA.SP project", GA.SP Notizie n.8 - Marzo, 1992
- [Sa80] D.G.Sarantites et al., Journal de Physique, Colloque C10, supplément n.12, Tome 41, Décembre 1980, page C10-269
- [Sp90] P. Spolaore "Optics for the coupling between the CAMEL Recoil Mass Spectrometer and GASP Gamma Spectrometer", LNL Ann.Rep.1990, pág.171
- [Tw86] P.J. Twin et al., Phys. Rev. Lett. 57 (1986) 811
- [Wa87] R. Wadsworth et al., J. Phys. G13 (1987) L207
- [Za90] R.Zanon et al. "PHOENIX: A CAMAC ADC Conversion Control System for Ge Detectors", LNL Ann.Rep. 1990, pp. 191-193

UNIVERSIDAD DE OVIEDA

BOLETIN DE NOTICIAS

Reunido el Tribunal de Calificación de Tesis de Grado Previamente en el día de la fecha, para celebrar el Doctorado de

7.º M.º Dolores de Acuña Garrido

trabajo: Realización del espectómetro de radiación X GASP. Implementación de un sistema de control automático.

poniendo en grado al Doctorado con el título de APTO CUM LAUDE

Fecha: 12 de diciembre de 1992

7.º Vocal,



El Presidente

3.º Vocal,



El Secretario

5.º Vocal,



El Secretario

